

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年6月8日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2008～2011

課題番号：20246092

研究課題名（和文） 健康とダンプビルに関する全国的調査と高湿度環境の緩和技術の最適設計手法に関する研究

研究課題名（英文） Investigation about health and a damp building and research on the optimal design technique of the mitigation technology of high humidity environment

研究代表者

吉野 博 (YOSHINO HIROSHI)

東北大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：30092373

研究成果の概要（和文）：

本研究は、ダンプビルの原因となる高湿度環境を解決するための最適設計法・住まい方の提案に資する資料を構築することを目的とする。そのために、住宅のダンプビル問題の実態を全国的規模で把握し、居住環境と居住者の健康状態との関連性を統計的に明らかにした。また、室内の湿度変動を安定させる機能をもった様々な多孔質の建材（調湿建材）等の高湿度環境緩和技術の使用効果について、実測やシミュレーションを用いた評価を行った。

研究成果の概要（英文）：

The purpose of this research is to clarify the optimal design method and lifestyle for solving the problem of a damp building. Therefore, nationwide survey about the damp building was conducted, and the relationship between living environment and a resident's health was clarified statistically. The use effect of high humidity environmental relief technology, such as hygroscopic material was evaluated using the experiment and the simulation.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	17,700,000	5,310,000	23,010,000
2009年度	8,900,000	2,670,000	11,570,000
2010年度	5,700,000	1,710,000	7,410,000
2011年度	4,100,000	1,230,000	5,330,000
年度			
総計	36,400,000	10,920,000	47,320,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築環境、設備

キーワード：健康、湿度環境、アンケート調査、実験、実測調査、調湿建材、調湿効果、湿度計算

1. 研究開始当初の背景

ダンプビル(Damp Building)とは、建物の壁や床などの躯体内や空気中に含まれる湿気が原因でカビやダニなどの微生物が繁殖し、居住者の健康に被害をもたらす危険性をもつ建物である。

現在、我が国では児童を中心としてアレルギー性疾患の有症率が全国的に増加傾向にある。その原因の一つとして、住宅の高湿度環境（ダンプネス）に起因する結露の発生やカビ・ダニ等の微生物汚染に伴うアレルギーへの曝露リスクが高くなったことが挙げら

れる。海外ではすでに大規模な疫学調査が実施されており、欧米のメタアナリシスでは、ダンプビルの場合、呼吸、喘息などの症状が30～50%増加することを示し、ダンプビル防止の重要性を指摘している。しかし、国内において、住宅のダンプネスと居住者の健康との関連性についての十分な実態把握はなされていない。

そもそも我が国の気候は高温多湿であり、高湿度が原因で生じる結露問題やカビ・ダニ問題との関連性は深い。従来の湿度制御方法は、エアコンや換気システム、除湿機などの機械設備によるものが中心であった。しかし、多くのエネルギーを消費する機械設備に依存しすぎることは、環境問題が大きく取り上げられている状況の中では望ましいことであるとは言い難い。そのため、住宅の湿度制御エネルギーを全く使用しないパッシブな対策手法として、室内の湿度変動を安定させる機能をもった様々な多孔質の建材（調湿建材）が開発されてきている。しかし、実際の住宅における調湿建材の設置効果は明確ではなく、実測やシミュレーションを用いた評価が必要といえる。

2. 研究の目的

本研究課題の申請時における研究目的は以下の4点である。

- (1) ダンプビル問題の全国的な実態把握と健康と微生物汚染との関係の解明
- (2) 室内湿度分布の計算法の開発と検証
- (3) 高湿度環境緩和対策の提案と評価
- (4) ダンプビルを防止するため高湿度環境の緩和技術の最適設計法の確立と住まい方の提案

3. 研究の方法

(1) 既往研究の調査

文献調査により、関連する既往研究をまとめた。

(2) 児童の健康とダンプビルに関する全国調査

全国の小学校4、5年生を対象とした疫学的なアンケート調査及び実測調査を実施し、児童の健康状態と住宅のダンプネスの関連性について分析を行った。

(3) 調湿建材を用いた高湿度環境の緩和実験

チャンパー、屋外実験棟、多数室実験室を用いた実測を行い、調湿建材を使用した場合の調湿性能評価を行った。

(4) 高湿度緩和技術に関する数値計算

シミュレーションによる室内温度分布の計算プログラムやカビ発生の予測手法の開

発を行った。また、調湿建材などの高湿度環境緩和技術の適用効果について、多数室計算モデルを用いた検討を行った。

4. 研究成果

(1) 児童の健康とダンプビルに関する全国調査

① 児童の健康と居住環境の関連性についての分析結果（アンケート調査）

- ・全国の小学校4、5年生を対象に居住環境と児童の健康状態に関するアンケート調査を実施した。アンケートの回収数は1,846件で回収率は64.4%であった。
- ・室内のカビや水シミの汚染程度が重度化するほど、児童の健康に与える影響度合いも大きくなった。結露、カビ、水シミの発生個数から算出したDampness Indexと症状を比較した結果、これらの要因が複数発生しているほど症状に与える影響が統計的に有意になった。
- ・換気設備に関して、「換気設備＋常時運転」の場合は発症を抑制する要因となり、「換気設備＋間欠運転」の場合は発症要因として統計的に有意になった。
- ・住まい方に関わる要因では、「加湿器」や「洗濯物」が児童の症状に何らかの影響を及ぼしていた。また「防虫剤」や「防臭剤」などの化学物質の放散による空気汚染が懸念される要因で、統計的に有意な発症リスク要因となった。

② 児童の健康と微生物濃度との関連性についての分析結果（実測調査）

- ・アンケート調査を実施した児童のうち、延べ248件の住宅を対象に、住宅の温湿度、微生物濃度等に関する実測調査を実施した。
- ・浮遊真菌濃度とアレルギー症状の関係を検討した結果、統計的有意差は得られなかった。ただし、梅雨期のDG-18培地の浮遊真菌濃度など、季節によっては症状あり群（ケース群）と症状なし群（コントロール群）で濃度に差があることが確認された。
- ・ダスト中真菌濃度とアレルギー症状の関係を検討した結果、統計的に有意な用量反応関係は得られなかったものの、ケース群の方が子供部屋DG-18培地のダスト中真菌濃度が多く検出される傾向を示した。また居間DG-18培地のダスト中真菌濃度は150CFU/mgを超過するとオッズ比が1より大きくなる傾向を見せ、1500CFU/mgを超過した住宅はケース群のみで現れ、コントロール群には存在しなかった。このことからケース群の方がダスト中真菌濃度が高濃度で検出される住宅が多いことが分かった。
- ・ダスト中真菌濃度と浮遊真菌濃度を比較すると、ダスト中真菌濃度の方が外気条件や季節による変動が小さく、アレルギー症状

との関連性も示唆されたことから、ダスト中真菌濃度の方が住宅の汚染指標や症状との関連性を検討する上で有効であることが示唆された。

- ・ダスト中ダニアレルゲン濃度をケース群とコントロール群で比較した結果、居間のDer p 1濃度がアレルギー感作数値 $2\mu\text{g/g dust}$ を超過した住宅でオッズ比が 16.74 で有意なリスク要因となった。ダスト中ダニアレルゲン濃度の中でも特に高湿度で繁殖が活性化される Der p 1濃度がアレルギー疾患と強く関連していることがわかった。

(2) 調湿建材を用いた高湿度環境の緩和実験

①チャンバー実験による調湿効果の評価

- ・換気量、加湿量および調湿建材の試料負荷率を調整した条件の下で空調試験室内に設置されたチャンバー実験を行なった。
- ・調湿建材の設置によって、室内湿度変動が抑えられることを確認した。
- ・調湿建材を設置している室内表面近傍の湿度変動は室中央点より小さいことから、表面結露リスクを低減することができると考えられた。

②屋外実験棟実験による調湿効果の評価

- ・木造2階建の左右対称の構造となっている屋外実験棟を用いて、実際の外気環境による換気の影響を考慮しながら吸放湿建材の設置面積を変化させた実験を行った。
- ・実際スケールの居室に吸放湿建材を使用しても、外気の影響は受けるものの、全てのケースを通して調湿効果はみられる。
- ・試料負荷率と調湿効果の関係は、試料負荷率が増えるほど調湿効果も増える傾向にある。また、試料負荷率に加えて換気による影響が大きく、換気量が増加すると調湿効果は減少する傾向にある。
- ・調湿建材の調湿効果は、室内の相対湿度や絶対湿度を大幅に変えるわけではなく、外気や室内での湿度の発生など、日々の生活の上で変動する湿度の変動を緩やかにし、急激な湿度変動を緩和する効果があることがわかった。

③多数室実験室実験による調湿効果の評価

- ・人工気象室を用いた調湿建材の設置面積を変化させた多数室実験を行ない、冬季の非暖房室における調湿建材の高湿度緩和効果および結露防止効果に対する検討を行なった。
- ・調湿建材を設置することによって、非暖房室における加湿時の湿度上昇だけでなく、養生時や成り行きによる湿度変動を緩和することができる。
- ・調湿建材を設置することによって、冬季の

低温部の結露を緩和する効果が顕著にみられた。

(3) 高湿度緩和技術に関する数値計算

①壁の吸放湿との連成計算方法の提案

- ・調湿建材がない実験条件と設置してある実験条件を対象として、CFD解析と壁内部熱・水分同時移動解析の連成計算方法を提案し、精度検証の計算を行った。
- ・調湿建材がない場合、CFD解析の結果と実験値と比較的よく対応していることが確認でき、CFDの適用性や設定方法および条件の妥当性を確認した。
- ・調湿建材が設置してある条件の実験結果と比較した結果、計算結果は実験をおおむね再現することができた。しかし、連成計算では非常に時間がかかるため、実際に壁の吸放湿を考慮する室内短時間の非定常変動を予測したい場合のみ適用できる。

②多数室実験室をモデルとした数値解析

- ・調湿建材の設置する壁面の位置と面積を変化させた数値解析を行い、冬季の非暖房室における高湿度緩和効果および結露防止効果に対する高湿度防止対策を検討した。
- ・調湿建材を使用しないケースでは、ガラス表面や外壁の隅など温度が低いところに結露が起きやすいことがわかった。調湿建材が壁に貼付することにより相対湿度、絶対湿度の緩和効果がみられた。壁付近での相対湿度および絶対湿度は空間中より全体的に緩やかになり、結露防止の効果が現れた。
- ・以上の数値解析の結果から、冬季における高湿度・結露を防止するため、調湿建材の貼付による湿度環境緩和対策を実施することが有効であると言える。

③数値シミュレーションによるカビ予測

- ・一般的な住宅の浴室空間を対象として、浴室内に形成される流れ場、温度場、湿度場の連成解析を行うと共に、浴室開口部より浴室内に移流される真菌孢子に代表されるバイオエアロゾルの移流・拡散現象、浴室内部壁面に対する不均一沈着量を定量的に予測し、沈着後の微生物増殖予測までを再現する一連の数値解析モデルを提示し、一定の境界条件のもとで解析を実施した事例を報告した。
- ・浴室空間を対象として温度差による浮力モデル、湿度差による浮力モデルを組み込んだ流れ場解析を実施した結果、空間体積が限定されている一般住宅の浴室では、既往研究での指摘のとおり、含湿浮力モデルが流れ場予測精度に与える影響は小さく無視可能であることが確認された。
- ・定常流れ場解析結果を基に浮遊真菌孢子を

モデル化した球形粒子の Lagrange 解析を行った結果、相対的に換気回数の大きい ($n=59 \text{ h}^{-1}$) 解析ケースにおいて、吹出気流が衝突する吹出口の対向壁下部への孢子沈着量が大きく、換気回数の小さい ($n=5.9 \text{ h}^{-1}$) 解析ケースでは、流入した粒子は浴槽上部の熱上昇流に誘引され室上部に輸送されるため、床面や吹出口の対向壁下部への沈着量は小さくなる。真菌孢子の壁面沈着量は換気量が大きくなれば単純に減少する訳ではなく、流れ場の性状に強く依存する事が確認された。

- ・反応拡散系モデルによる真菌増殖モデルをタイルと目地より構成された浴室壁面に適用し、実時間で2週間の解析を実施した。建材表面に有効養分 n を設定することで、建材種が異なる場合の真菌増殖速度の相違を表現する簡易モデルを示した。
- ・今回は流れ場予測から真菌増殖に関する形態予測までを一連のプロセスとして解析する手順を示した。真菌孢子輸送から壁面沈着、真菌増殖までを含めた一連の解析に対する予測精度の検証は今後の課題である。

④多数室モデルを用いた調湿建材の適用効果

- ・生活スケジュールを考慮した上で、数値計算により吸放湿建材を木造戸建住宅と RC 造集合住宅に適用した場合の効果を把握し、調湿効果が得られる使用量を提案することを目的に、数値計算を用いて吸放湿建材の適用効果を検討した。
- ・年間シミュレーションより、吸放湿建材貼付によって、年間を通して高湿・低湿の発生頻度を減らし、湿度変動を緩和する効果が確認された。

⑤数値シミュレーションによる高湿度環境改善に関する検討

- ・システム・シミュレーション・プログラム TRNSYS16 と外部モジュールである TRNFLOW を用いた熱・湿気・換気の連成計算を実施し、集合住宅モデルを対象として断熱性能、換気方式と換気回数、間仕切り扉の開閉、吸放湿建材の有無による室内温湿度、表面温度、熱負荷、結露時間について検討を行った。
- ・室温は、南側に面する居間及び主寝室が最も高く、北側に面する子供室が最も低い。また室の換気回数が増えるほど、平均室温が下がる傾向にある。各ケースともに次世代省エネルギー基準の方が旧省エネルギー基準よりも平均室温は $2\sim 5^\circ\text{C}$ 程度高い。
- ・換気設備を局所換気のみとすると、平均相対湿度が $20\sim 30\%RH$ 程度高くなり、 $100\%RH$ となる時間帯もある。南側の居室は、北側の居室よりも $10\sim 20\%RH$ 程度低く、換気量

の少ないケースでその傾向が顕著にみられる。また、次世代省エネルギー基準のケースでは、旧省エネルギー基準のケースよりも室温が高いため、平均相対湿度が $5\sim 15\%RH$ 程度低くなる。

- ・換気回数が増えると、平均絶対湿度が低くなる傾向が見られた。また吸放湿材を設置すると、平均絶対湿度が低くなるケースが確認された。旧省エネルギー基準のケースと次世代省エネルギー基準のケースを比較すると、一部のケースを除いては大きな差は見られない。
- ・換気回数が増えても、壁体及びガラスの表面温度には大きな差が見られない。平均表面温度は、次世代省エネルギー基準のケースでは、旧省エネルギー基準のケースと比較して壁体表面では $2\sim 5^\circ\text{C}$ 程度、ガラス表面では $5\sim 8^\circ\text{C}$ 程度上昇している。
- ・暖房顕熱負荷は、次世代省エネルギー基準のケースでは、旧省エネルギー基準のケースと比較して $1/5\sim 1/3$ 程度となる。
- ・旧省エネルギー基準では、換気設備を局所換気のみとすると、全ての面において結露が発生する。一方、次世代省エネルギー基準では、局所換気のみで夜中から明け方にかけて結露が発生し、換気回数を増やすと結露が発生しなくなる。結露は主に、北側の子供室やガラス面に多く見られ、それらの場所の積算結露時間が長い傾向がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

1. Huibo Zhang, Hiroshi Yoshino, Kenichi Hasegawa, Assessing the moisture buffering performance of hygroscopic material by using experimental method, Building and Environment, 査読有, Vol. 48, 2012, 27-34
2. 伊藤一秀、水野優、各種の湿度環境下における真菌類の増殖速度測定と増殖挙動モデル、日本建築学会環境系論文集、査読有、74(636)、2009、193-199

[学会発表] (計53件)

1. Hiroshi Yoshino, Naoya Ando, Kenichi Hasegawa, Keiko Abe, Koichi Ikeda, Noriko Kato, Kazukiyo Kumagai, Ayumi Hasegawa, Teruaki Mitamura, U. Yanagi, Kensuke Hamada, Survey on residential indoor environment and children's health in Japan, ISHVAC 2011, 2011年11月7日、中国(上海)
2. Huibo Zhang, Hiroshi Yoshino, Atsushi Iwamae, Kenichi Hasegawa, Akashi

Mochida, Assessment of moisture microclimate in a room through coupling simulation of heat and moisture simultaneous transport in air and hygrothermal material, 8th International Conference on System Simulation in Buildings, 2010年12月13日, リエージュ (ベルギー)

3. Hiroshi Yoshino, Kenichi Hasegawa, Keiko Abe, Koichi Ikeda, Noriko Kato, Kazukiyo Kumagai, Ayumi Hasegawa, Teruaki Mitamura, U Yanagi, Aki Nakamura, Asako Matsuda, Investigation of Association between Indoor Environmental factors and children health problems in Japan Part 1: Design of survey and outcome of allergic symptoms in children, Healthy Buildings 2009, 2009年9月16日, シラキュース (アメリカ)
4. 中村安季、吉野博、長谷川兼一、阿部恵子、池田耕一、加藤則子、熊谷一清、塩津弥佳、長谷川あゆみ、三田村輝章、柳宇、松田麻香、居住環境と児童の健康障害との関連性に関する調査研究 その1 調査デザインと実施状況、日本建築学会大会学術講演梗概集、2008年9月18日、広島

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉野 博 (YOSHINO HIROSHI)
東北大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：30092373

(2) 研究分担者

長谷川 兼一 (HASEGAWA KENICHI)
秋田県立大学・システム科学技術学部・准教授
研究者番号：50293494

岩前 篤 (IWAMAE ATSUSHI)
近畿大学・理工学部・教授
研究者番号：90368283

柳 宇 (YANAGI U)
工学院大学・工学部・教授
研究者番号：50370945

伊藤 一秀 (ITO KAZUhide)
九州大学・総合理工学研究院・准教授
研究者番号：20329220

三田村 輝章 (MITAMURA TERUAKI)
前橋工科大学・工学部・准教授
研究者番号：10406027

野崎 淳夫 (NOZAKI ATSUO)
東北文化学園大学・健康社会システム研究科・教授
研究者番号：80316447

池田 耕一 (IKEDA KOICHI)
日本大学・理工学部・教授
研究者番号：90100057

岸 玲子 (KISHI REIKO)
北海道大学・医学研究科・教授
研究者番号：80112449

(3) 連携研究者

持田 灯 (MOCHIDA AKASHI)
東北大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：00183658