

令和 6 年 6 月 19 日現在

機関番号：22303

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04374

研究課題名（和文）ダンプネスの建築的防除策の効果を定量化するダンプネスシミュレータの開発

研究課題名（英文）Development of the Dampness Simulator to Quantify the Effects of Architectural Control Measures for Dampness

研究代表者

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

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、これまでアンケート調査の回答に基づく主観評価により定量化されてきたダンプネスの程度の評点を数値シミュレーションの結果から算出するダンプネスシミュレータを開発し、建築的防除策の効果を定量化した。具体的には、冬期におけるアンケート調査と実測調査を実施し、実測結果から算出した結露状況と予測カビ指数をアンケート調査によるダンプネスの程度の評点を構成する各項目の評点と比較することで室内環境の物理量からダンプネスの程度の評点を評価する方法を示した。また、開発したシミュレータによる計算を実施し、断熱気密性能の低い設定と高い設定で、それぞれダンプネスの程度の改善要因と悪化要因について分析した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発したダンプネスシミュレータは、これまでアンケート調査による評価方法では把握しきれなかった年間を通じたダンプネスの程度の評点の推移についても評価できるため、特に高湿度となる梅雨期や夏期におけるダンプネスの新たな研究への展開が期待される。また、最近では大型台風の襲来や集中豪雨による浸水被害の増加も懸念され、これらも広義のダンプネスの問題と捉えることができ、その復興手段の検討にも適用可能である。

研究成果の概要（英文）：In this study, a dampness simulator was developed to calculate the dampness index, which have been quantified by subjective evaluation based on the answers to a questionnaire survey, from the results of this simulator, and to quantify the effectiveness of architectural control measures for dampness.

A questionnaire and field measurement surveys were carried out during the winter, and a method for evaluating the dampness index from indoor environment was shown by comparing the condensation status and predicted mould index calculated from the field measurement results with the scores of each item that make up the dampness index from the questionnaire survey. In addition, calculations were carried out using the developed simulator and the factors that improved and worsened the degree of dampness were analysed for low and high insulation and airtightness settings, respectively.

研究分野：建築環境工学

キーワード：ダンプネス シミュレータ アンケート調査 実測調査 建築的防除策

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ダンプネスとは、建物の高湿度な状態を指し、これまで国内外における調査から居住者の喘息やアレルギー症状との関連性が指摘されている。特に住宅におけるダンプネスについては、全国約 5,000 件を対象としたアンケート調査が実施され、居住者が容易に観察可能な「結露・カビの発生」や知覚が可能な「カビ臭」に関する主観的な質問項目の回答を点数化し、24 点満点の評点で評価する方法が提案されている。これにより、ダンプネスの程度の定量化に成功し、また、ダンプネスの評点分布や各種疾病との関連性が明らかにされてきた。一方、ダンプネスの問題は、包括的には原因は単純で対策は明確であるが、ダンプネスの程度の評点が高い住宅は必ずしも湿度が高いわけではなく、単純に室内温湿度のみでは説明できないため、例えば、除湿による湿度の低下といった物理的な環境要素のみの対策だけでは問題解決に至らない現状がある。そのため、ダンプネスの建築的防除策を検討するには、アンケート調査で評価される結露・カビの発生状況の観察やカビ臭の知覚といった主観的な要素を組み込んだ指標に基づく判断が必要であり、建物の断熱改修や換気促進といった具体的な建築的防除策によるダンプネスの程度の評点の低減割合を指標として、その効果を定量化する必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、これまでアンケート調査の回答に基づく主観評価により定量化されてきたダンプネスの程度の評点を数値シミュレーションの結果から算出する方法を提案し、算出した評点をアンケート調査及び実住宅における実測調査の結果と照合することで、その精度を検証する。その上で建物の熱・換気連成シミュレーションツールを核とした「ダンプネスシミュレータ」を開発し、その活用により、様々な建築的防除策の効果を定量化することを最終的な目的とする。

3. 研究の方法

3.1 アンケート調査及び実測調査による評点の算出方法の検討

インターネットを利用した全国規模でのアンケート調査(有効回答数 2,674 件)を実施し、その中から実測調査への協力が得られ、居間と寝室の両方を備えていること、窓ガラスや換気設備などの仕様が明確であることなどを条件として抽出した東北地方と関東地方の住宅 126 件を最終的な分析対象とする。アンケート調査は、2022 年 1 月 13 日～17 日の 5 日間に実施した。調査項目は、居住者と建物・設備の属性、住まい方、室内環境の感じ方の他、ダンプネスの程度の評点を算出するための質問項目を含んでいる。実測調査は、2022 年 1 月 28 日～2 月 3 日と 3 月 2 日～9 日の各 7 日間、二期に分けて実施した。測定機器は、インターネット調査会社を通じて対象住戸に送付し、居住者が設置方法の指示に従い設置して、測定期間の終了後に返送する方式とした。測定項目は、居間と寝室の室内温湿度、窓ガラス表面温度である。

数値シミュレーションの結果からダンプネスの程度の評点を算出する方法として、計算される「窓ガラスにおける結露の発生時間・結露水量」と「予測カビ指数」といった物理量を用いることとするが、それぞれアンケート調査で評価される結露状況やカビ・カビ臭の発生箇所と同等な結果が得られるかを確認する必要がある。そこで、アンケート調査によるダンプネスの程度の評点を構成する各項目と計算される物理量の想定値として実測結果から算出される数値を照合することで、両者の関係性について分析し、物理量からアンケート調査による主観評価と同等なダンプネスの評点への換算方法を検討する。物理量は、窓ガラスの結露状況については、窓ガラスの表面温度と室内の露点温度の差を T (窓ガラス表面温度 - 露点温度) として実測結果から算出し、 T が 0 未満で結露が発生するものとして、 $T < 0$ となる 1 日あたりの平均時間を指標として評価する。カビの発生状況については、予測カビ指数を室内温湿度の実測結果から算出し、実測期間中における予測カビ指数の平均値を指標として評価する。

3.2 「ダンプネスシミュレータ」の構築と建築的防除策の検討

計算には、システム・シミュレーション・ツール TRNSYS18 とアドオンの TRNFlow を用い、外皮の隙間による自然換気と機械換気も含めた熱・換気連成計算を行う。室内の発熱、発湿や冷暖房運転などの住まい方に関する入力データは、スケジュール自動生成プログラム(スケジュール Ver.2、(一社)空気調和・衛生工学会)を使用し、4 人家族を想定して作成する。計算対象建物は日本建築学会標準住宅モデルを用いる。計算は、助走期間を 1 ヶ月間とし、年間の室温、室内相対湿度、居間と寝室の窓ガラスと外壁表面での結露の発生時間、結露水量を算出する。

建物性能を断熱気密性能についてグレード 1～4 の 4 段階を設定し、暖房設備、換気設備については各グレードに応じて使用が想定される設備を設定する。暖房設備における石油ストーブでは、燃焼による水蒸気発生を暖房負荷に応じて設定する。気象データは東京の拡張アメダス(標準年)を用いる。計算ケースは、各グレードで Case 1～5 の 5 ケースを設定した全 20 ケースである。Case 1 を基本ケースとして、断熱気密性能の低いグレード 1 と 2 ではダンプネスの程度が改善する影響、断熱気密性能の高いグレード 3 と 4 ではダンプネスの程度が悪化する影響を検討するために、窓仕様(Case 2)、暖房設備(Case 3)、換気設備(Case 4)を変更した影響、以上を組み合わせた影響(Case 5)について考察する。

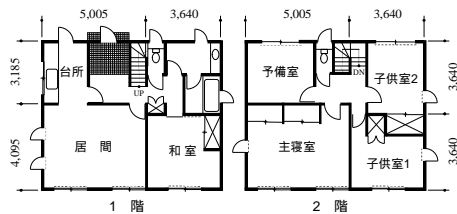


図1 計算対象建物の平面図

表1 計算対象建物の建物性能グレード

グレード	グレード1	グレード2	グレード3	グレード4
断熱性能(等級)	無断熱相当	等級2相当	等級3相当	等級4相当
断熱材厚 [mm]	天井	50(10K)	65(10K)	100(10K)
	壁	25(10K)	45(10K)	100(10K)
	床	25(10K)	40(10K)	100(10K)
気密性能(C値) [cm ² /m ³]	7.1	4.1	2.24	0.71
気密等級	A-2等級	A-3等級	A-3等級	A-4等級
	窓仕様	単板	単板	複層
窓仕様	ガラス	単板	複層	Low-E
	枠	アルミ	アルミ	7種樹脂複合
暖房設備	石油ストーブ (主要室・間欠)	石油ストーブ (主要室・間欠)	エアコン (主要室・間欠)	エアコン (主要室・間欠)
	居室	無し	換気口	第3種(24h)
換気設備	浴室・便所	換気口	局所排気	第3種(24h)
			熱交換(24h)	熱交換(24h)

主要室: 居間, 主寝室, 子供室1, 子供室2

表2 計算ケース一覧

断熱性能(等級)	窓仕様			換気設備	
	ガラス	枠	暖房設備	居室	浴室・便所
G1_Case 1	単板	アルミ	石油ストーブ	無し	換気口
G1_Case 2	複層				
G1_Case 3	単板		エアコン		
G1_Case 4	単板		石油ストーブ		
G1_Case 5	複層		エアコン		
G2_Case 1	単板	アルミ	石油ストーブ	換気口	局所排気
G2_Case 2	複層	7種樹脂複合			
G2_Case 3	単板	アルミ	エアコン		
G2_Case 4	単板	アルミ	石油ストーブ		
G2_Case 5	複層	7種樹脂複合	エアコン		
G3_Case 1	複層	7種樹脂複合	エアコン	第3種(24h)	第3種(24h)
G3_Case 2	単板	アルミ			
G3_Case 3	複層	7種樹脂複合	石油ストーブ		
G3_Case 4	複層	7種樹脂複合	エアコン		
G3_Case 5	単板	アルミ	石油ストーブ		
G4_Case 1	Low-E	樹脂	エアコン	熱交換(24h)	熱交換(24h)
G4_Case 2	複層	7種樹脂複合			
G4_Case 3	Low-E	樹脂	石油ストーブ		
G4_Case 4	Low-E	樹脂	エアコン		
G4_Case 5	複層	7種樹脂複合	石油ストーブ		

Case 1: 基本, Case 2: 窓の影響, Case 3: 暖房の影響, Case 4: 換気の影響, Case 5: 組み合わせ

4. 研究成果

4.1 アンケート調査の結果と実測結果の比較

アンケート調査によるダンプネスの程度の評点を構成する各項目と実測結果から算出した $T < 0$ となる平均時間を比較する。

図2に各住宅における室毎の $T < 0$ となる時間を結露箇所なしと結露箇所が1箇所以上に分けて昇順に並べて示す。アンケート調査では「結露箇所なし」と回答していても、 $T < 0$ となる時間が0 h/dayより大きい室は20室みられる。一方、結露箇所が1箇所以上あると回答した住宅では、 $T < 0$ となる時間が0 h/dayより大きい室は45室みられる。結露箇所の有無と室毎の $T < 0$ となる時間は、「結露箇所なし」と回答していても0 h/day以上となる住宅がみられるのは、居住者が観察できていない時間帯に結露が発生している可能性がある。逆に結露が1箇所以上発生すると回答した住宅のうち、0 h/day以上となる割合は全体の約38%であり、残りの約62%の室では窓ガラス中央付近の表面温度の計測では結露の発生を正確に検知できていない可能性が考えられる。

図3に結露の程度と $T < 0$ となる平均時間を示す。「結露なし」でも0.30 h/dayとなるが、「水滴が付着する程度」と「水滴が流れる程度」では明確な差がみられ、それぞれ2.69 h/day, 5.00 h/dayとなった。

図4に結露の頻度と $T < 0$ となる平均時間を示す。「結露なし」から「ときどき発生する」までは大きな差はみられず、1 h/day未満であるが、「頻繁に発生する」と「常に発生する」では、それぞれ3.63 h/day, 4.53 h/dayとなる。結露の程度・頻度と $T < 0$ となる平均時間は、結露の程度については「くもっている程度」の件数が少なく、正確に評価できなかったと考えられる。また、結露の頻度についても同様なことがいえる。

図5にカビの発生箇所と平均予測カビ指数を示す。「発生箇所なし」から「2箇所に発生」までは0.10以下と小さい。一方、「3箇所に発生」では明確な差がみられ、0.82となる。カビの発生箇所と平均予測カビ指数は、「3箇所に発生」のみ明確な差がみられ、2箇所以下の識別は今回検討した方法では困難であると考えられる。

図6にカビ臭の発生箇所と平均予測カビ指数を示す。「浴室・洗面所・台所で発生」が1.14と最も高く、その他は0.10以下である。カビ臭の発生箇所と平均予測カビ指数は、「浴室・洗面所・台所で発生」が最も高くなり、評点が高く評価される「浴室・洗面所・台所以外で発生」よりも高くなった。これは、浴室・洗面所・台所以外では、居間や寝室でカビ臭が発生すると回答した件数が多く、梅雨期などに発生したカビ臭が染み付き、冬期においては予測カビ指数が低くなる室内温湿度であってもカビ臭を知覚したことが原因と考えられる。

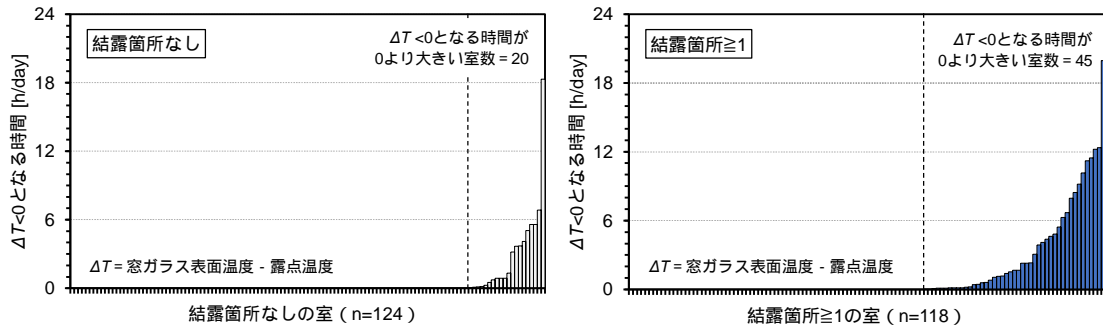


図2 結露箇所の有無と室毎の $T < 0$ となる時間

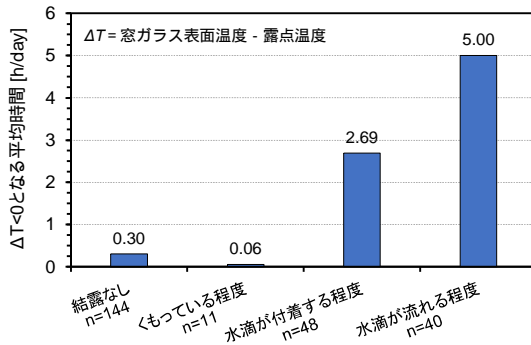


図3 結露の程度と $T < 0$ となる平均時間

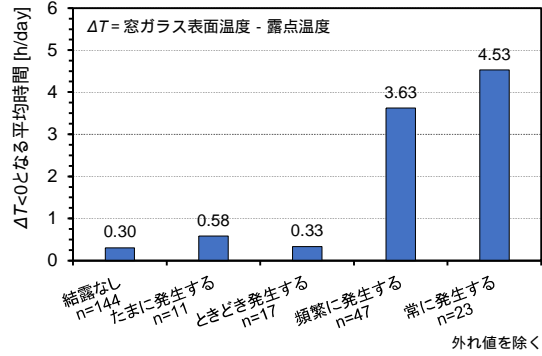


図4 結露の頻度と $T < 0$ となる平均時間

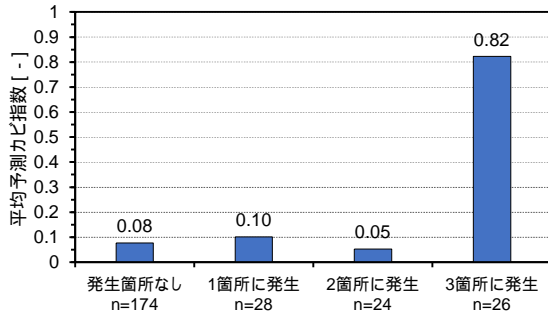


図5 カビの発生箇所と平均予測カビ指数

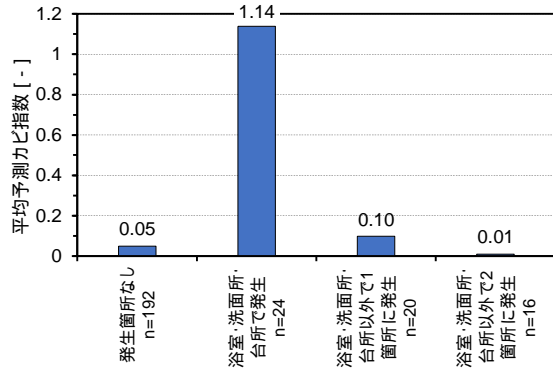


図6 カビ臭の発生箇所と平均予測カビ指数

4.2 シミュレータによる建築的防除策の検討

図7に全ケースのダンプネスの程度の評点の計算結果を示す。グレード1と2では、Case 2~5はCase 1よりダンプネスの程度の評点は低下しており、特にグレード1では窓仕様の変更と暖房設備の変更の効果が大きいことがわかる。また、Case 2~4を組み合わせたCase 5はグレード1, 2とともに最も効果が大きく、ダンプネスの程度の評点は2未満まで低下する。グレード3と4では、Case 2~5はCase 1よりダンプネスの程度の評点は6~11点の範囲で上昇しており、特にCase 3とCase 4の結果から、断熱気密性能が高くても開放型の暖房器具を使用したり、換気設備が適切に運転されていない場合は、ダンプネスを引き起こす要因となることが示唆される。

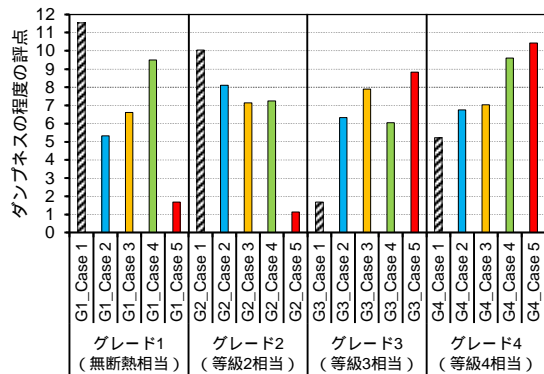


図7 ダンプネスの程度の評点の計算結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 三田村輝章, 長谷川兼一, 鍵直樹
2. 発表標題 住宅におけるダンプネスの程度を予測するシミュレーターの開発 - アンケート調査による結露・カビ臭の主観評価と実測結果の比較分析 -
3. 学会等名 人間-生活環境系学会大会 第46回人間-生活環境系シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 三田村輝章, 長谷川兼一, 鍵直樹, 田村成
2. 発表標題 関東地方の住宅における冬季と夏季の室内微粒子濃度とCO2濃度の実測調査
3. 学会等名 2023年室内環境学会学術大会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	長谷川 兼一 (Hasegawa Ken-ichi) (50293494)	秋田県立大学・システム科学技術学部・教授 (21401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------