

平成30年6月25日現在

機関番号：82602

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H04091

研究課題名(和文) 気候激化に伴う浸水によるダンプと健康被害の低減に向けた住宅の診断・復旧技術の提案

研究課題名(英文) Proposal of housing inspection and restoration technology for reducing dampness and health damage caused by flooding on climate change

研究代表者

大澤 元毅 (Osawa, Haruki)

国立保健医療科学院・生活環境研究部・主任研究官

研究者番号：20356009

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,500,000円

研究成果の概要(和文)：近年、地球温暖化を契機に想定を越えた台風や集中豪雨が洪水や建物の浸水を招き、住まいの安全を脅かす事態が日本各地で頻発している。一度浸水した住宅は、室内及び床下に湿気をため込み(ダンプ)、室内の環境悪化に伴う居住者の健康影響が懸念される。しかしながら、設計時・被災時における対策・復旧に関する情報が不足していることがある。本研究は、水害対策に係る技術動向、浸水後に生じる居住環境上の被害と居住者の健康影響、被害メカニズムについて、住宅の中期的な追跡調査と実験研究を行うことで、住宅のダンプ被害の把握と合理的な対策・復旧方法の提案を行うことを目的とする。

研究成果の概要(英文)：In recent years, typhoons and torrential downpours by global warming invite floods and flooding of buildings and threaten the safety of homes frequently in Japan. Houses submerged once suffer from moisture in the interior and under the floor (dampness), there is concern about the health effects of residents due to deterioration of indoor environment. However, information on countermeasures / restoration at the planning and disaster may be insufficient. This study investigated the trend of flood damage countermeasure, the damage on the living environment after inundation, the health effects of the resident and the damage mechanism, by conducting the follow-up survey and experimental research on the housing to propose rational countermeasures / recovery methods.

研究分野：建築環境工学

キーワード：室内空気質 水害 ダンプ 住宅

### 1. 研究開始当初の背景

近年、地球温暖化を契機に想定を越えた台風や集中豪雨が洪水や建物の浸水を招き、住まいの安全を脅かす事態が日本各地で頻発している。一度浸水した住宅は、室内及び床下に湿気をため込み（ダンプ）、室内の環境悪化に伴う居住者の健康影響が懸念される。更に、近年の住まいでは省エネ性・居住性や耐震性を求めた工法・設備・建材技術の革新で急速に変貌しているが、浸水等の非常時には却って減災・復旧の妨げとなる懸念もあることを申請者らは明らかにしている。しかしながら、設計時・被災時における対策・復旧に関する情報が不足していることがある。

### 2. 研究の目的

本研究は、水害対策に係る技術動向、浸水後に生じる居住環境上の被害と居住者の健康影響、被害メカニズムについて、住宅の中期的な追跡調査と実験研究を行うことで、住宅のダンプ被害に関する健康被害及び室内環境の実態の把握を行うとともに合理的な対策・復旧方法に資する基礎的な知見の蓄積を目的とする。

### 3. 研究の方法

#### 3.1 アンケート調査の概要

本研究において調査対象としたのは、2014年8月16日から17日の豪雨により、京都府福知山市では広い範囲で冠水し、4500棟が浸水する被害となった京都府福知山地域で発生した集中豪雨による浸水被害住宅とした。住宅の室内環境と居住者の健康状態を実測及びアンケートにより調査した。調査協力に対する同意を得た14世帯について、浸水被害後約1年間（平成26年12月、平成27年7月）において追跡調査を行った。調査は、健康状態に関する質問紙調査により行った。

#### 3.2 実測調査の概要

上述の調査対象住宅において、2014年冬（12月）、2015年夏（7月）、秋（11月）に実測を行い、浸水による住宅の室内空気質への影響を調査した。住宅は、浸水住宅11軒（床上8軒、床下3軒）と未浸水住宅3軒を測定対象とした。測定対象住宅の室内・床下・屋外について、気中の揮発性有機化合物（VOC）濃度を測定し、2014年12月～2015年2月、7月～10月にかけて温湿度の測定を行った。室内環境の測定（気中化学物質濃度、気中真菌濃度、ダスト中エンドトキシン濃度）についても測定を行った。

#### 3.3 汚染物質発生実験の概要

実測調査より、浸水住宅においてVOC濃度が高くなる傾向が見られた。この原因を明らかにするために、建材発生試験を行い、高湿度や浸水が木質建材から発生するVOCに与える影響を調査した。実験に用いる建材に

は、床板に用いられる複合フローリングと、住宅の構造材に用いられるスギの無垢材を選定した。建材はシールボックスに入れるようにカットし、それぞれ袋に入れて密封し、実験開始まで25℃の温度に保った部屋で保管した。各建材の状態は、通常建材と、浸水住宅を想定して3日間水に浸漬させた浸漬建材とした。

発生量を測定には、小形チャンバー法を用いた。建材はシールボックスに入れて空気に触れる面積を一定とし、小形チャンバー内に設置した。設定湿度は25%RHと80%RHとした。VOCの発生挙動から判断し、複合フローリングは1週間、スギは2週間の発生実験を行った。実験開始後1, 3, 7, (10, 14)日にチャンバー内の気体をTenax TA, DNPHを用いて捕集し、それぞれをGC/MSとHPLCで分析した。そして、それらをもとにVOCの発生速度を算出した。

また建材の水の蒸発量、含水率の測定には、実験開始日、捕集日に建材の質量を測定した。実験後、建材を105℃の乾燥器内で2日間乾燥させ、その後、全乾質量を測定し、建材の水の蒸発量と含水率を算出した。

### 4. 研究成果

#### 4.1 アンケート調査の結果

アンケートの集計の結果、室内に浸水を受けてなかった住宅と比べて、室内に浸水被害を受けた住宅では、浸水被害後に部屋のカビや臭いの状態が優位に悪化し、居住者の睡眠状態も優位に悪化した（図1, 2, 3）。このことから、浸水により室内空気質に影響を与え、居住者の健康においても、何らかの影響が考えられた。

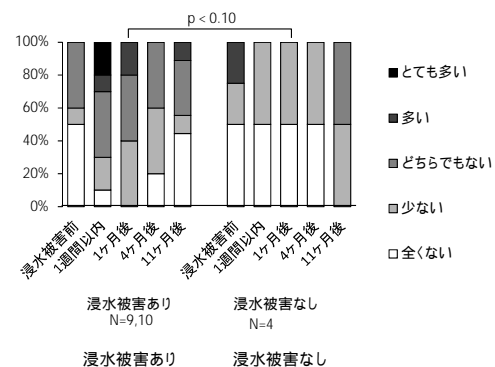


図1 カビの被害

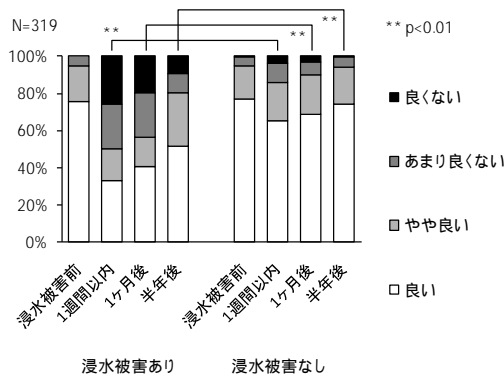


図2 部屋の臭い

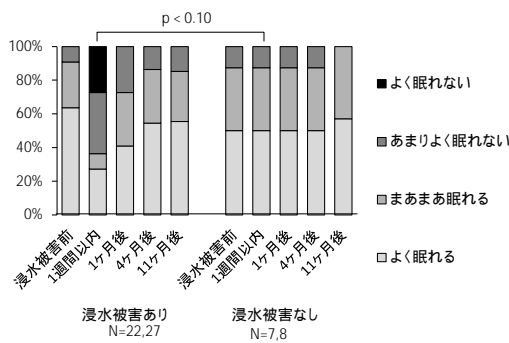


図3 睡眠の状況

#### 4.2 実測調査の結果

図4に2014年冬、2015年夏、秋の対象住宅の室内・床下における相対湿度の月平均値の推移を示す。通常住宅と比べ浸水住宅は、室内・床下共に高湿度となっていた。

2014年冬、2015年夏の住宅別の室内におけるAcetaldehyde濃度を図5に示す。通常住宅と比べ、浸水住宅の濃度は高い傾向であった。

浸水住宅の床下・室内における季節毎の湿度とAcetaldehyde濃度の関係を図6、図7に示す。床下では高湿度であるほど濃度の高い傾向があり、高湿度による床下材料からの発生量増加が示唆された。しかし、室内ではそのような傾向は見られなかった。これはAcetaldehydeなどのVOCは発生源が建材のみではないこと、季節毎に換気量が異なることなどが原因と考えられる。一方で冬に異臭が気になるという住民の声も多くあり、普段とは異なる発生源の存在が推測され、浸水による室内空気質への影響が考えられる。従って浸水後、高湿度や建材の含水によりVOCの発生量が増加し、室内濃度も上昇した可能性がある。

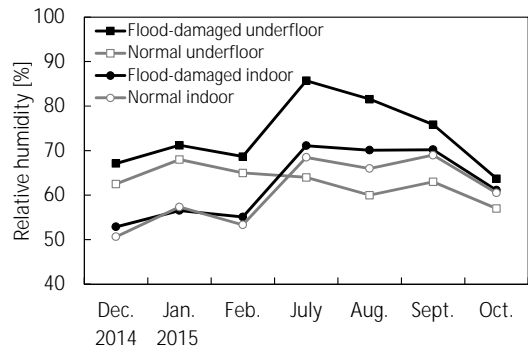


図4 福知山住宅の月別平均湿度

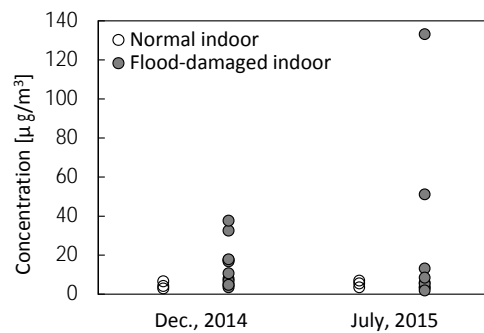


図5 室内のAcetaldehyde濃度

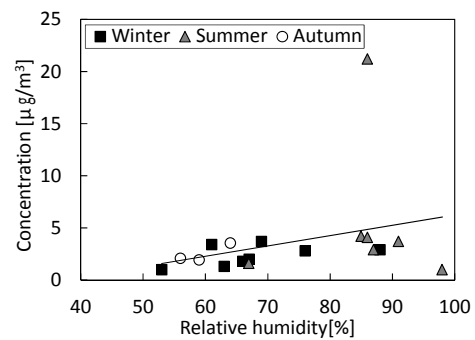


図6 相対湿度と床下のAcetaldehyde濃度

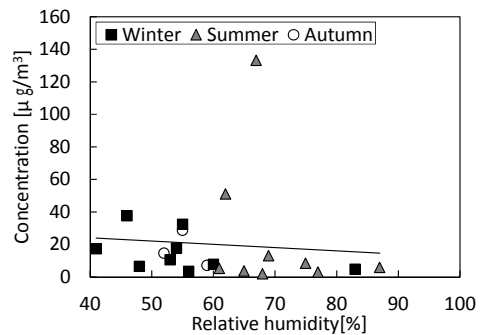


図7 相対湿度と室内のAcetaldehyde濃度

#### 4.3 木材の含水率

各建材の含水率の経時変化を図8、図9に示す。両建材とも80%RHの通常建材では吸湿し、それ以外の条件では乾燥する傾向に

った。

#### 4.4 VOC 発生パターン

実験結果より、両建材から Acetone, Acetaldehyde が検出された。その他にも、複合フローリングでは接着剤や塗料などの工業材料由来の VOC が主に発生しており、スギではセスキテルペン類が主に発生していた。

両建材とも VOC によって発生挙動が異なることがわかったため、以下に特徴別に VOC の発生パターンを3つに分類して、発生速度の経時変化を示す。

##### (1)水溶性の VOC

Acetone(複合フローリング)と Acetaldehyde (スギ)の発生速度の経時変化を図 10, 図 11 に示す。通常建材では高湿度ほど発生速度が大きく、時間経過に伴い減衰する傾向にあった。浸漬建材では、Acetone は通常建材に比べて発生速度が大きくなり、Acetaldehyde は時間経過に伴い発生速度が増大した。両 VOC 共に、水の蒸発量の多い 25 %RH の条件において発生速度が大きかったことから、水に溶解した VOC が水の蒸発と共に発生したと考えられる。

##### (2)加水分解する VOC

複合フローリングの通常建材では Methyl ethyl ketone と 1-Methoxy-2-propanol は未検出、または検出されても微量であったが、浸漬建材では両 VOC ともに発生速度が大きくなり、1-Methoxy-2-propanol に至っては、図 12 のように時間経過と共に増大した。これは建材中のエステル結合を持つ 1-Methoxy-2-propyl acetate が加水分解して生成されたと考えられる。

##### (3)非水溶性の VOC

複合フローリングに含まれる Toluene, Xylene, Ethylbenzene, Benzaldehyde, スギに主に含まれるセスキテルペン類の  $\delta$ -Cadinene,  $\alpha$ -Muurolene, Calamenene は高湿度ほど発生速度が大きくなり、浸漬させることで更に発生速度が増大した。既往研究より、建材の吸水時に水分子が建材の親水性部分に吸着し、その部分に吸着していた VOC が脱着したため、発生速度が大きくなったと考えられる。また、発生量の変化は、複合フローリングでは時間経過と共に減衰したが、スギでは図 13 のように 10 日以降に発生量がピークとなった。既往研究より、蒸発量の多い実験初期に、水の蒸発がセスキテルペン類の発生を抑制していると考えられる。

#### 4.5 VOC と水の蒸発量, 含水率との関係

浸漬により発生速度が増大した水溶性の Acetone と  $\delta$ -Cadinene などの非水溶性の VOC の発生原因を検討するため、25 %RH の通常建材の発生速度を基準に、実験 7 日目の

Acetone (複合フローリング),  $\delta$ -Cadinene (スギ)の発生速度と水の蒸発量, 含水率の関係を図 14, 図 15 に示す。グラフの傾きが正であれば、蒸発量・含水率の増加に伴い発生速度も増大することを示す。

Acetone は水の蒸発量の増加に伴い、 $\delta$ -Cadinene は含水率の増加に伴い、発生速度がそれぞれ増加していた。従って、Acetone は水に溶解して水の蒸発に伴い発生し、 $\delta$ -Cadinene は含水率により脱着して発生するという発生機構の違いが考えられる。

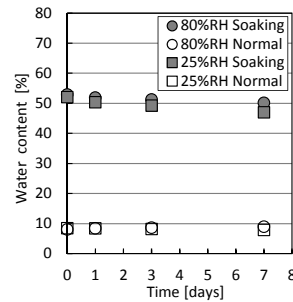


図 8 複合フローリングの含水率の経時変化

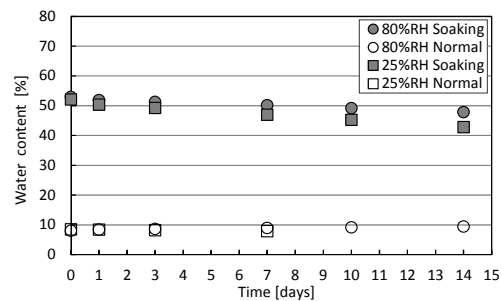


図 9 スギの含水率の経時変化

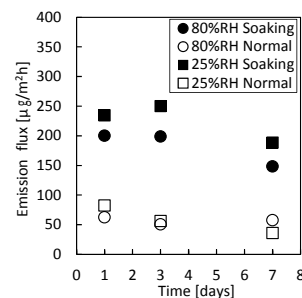


図 10 複合フローリングの Acetone 発生速度

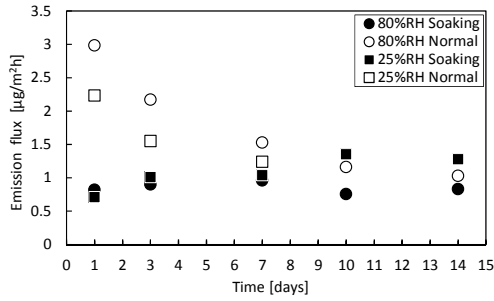


図 11 スギの Acetaldehyde 発生速度

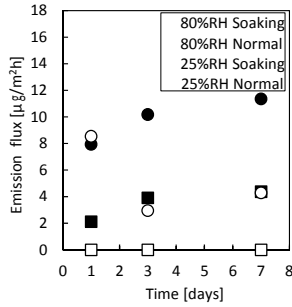


図 12 複合フローリングの 1-Methoxy-2-propanol 発生速度

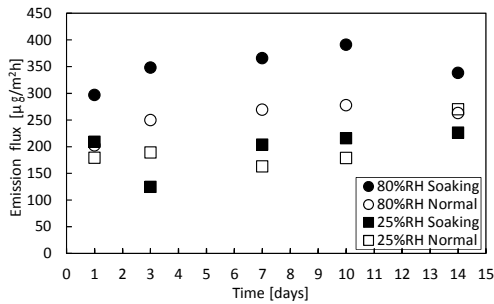


図 13 スギの δ-Cadinene 発生速度

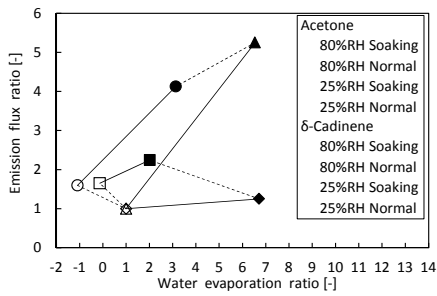


図 14 Acetone と δ-Cadinene の発生速度と水の蒸発量の関係

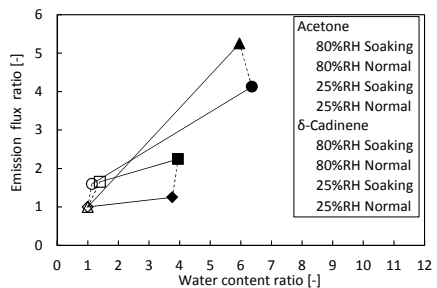


図 15 Acetone と δ-Cadinene の発生速度と含水率の関係

## 含水率の関係

### 4.6 アンケート調査と室内空気質

アンケートから統計解析を行った結果、室内の浸水の有無と各症状については、有意な関係は見られなかった(表 1)。

浸水被害の有無との直接的な関係はないが、汚染物質の室内濃度と症状では、浸水被害 11 ヶ月後にダスト中のエンドトキシン濃度の減少と鼻の症状の間に有意な関係が見られた(表 2)。ダスト中のエンドトキシン濃度は、床の消毒や清掃で低減する可能性があるが、その原因は不明である。

表 1 室内浸水ありと症状の関係

	浸水前	1週以内	1ヶ月後	4ヶ月後	11ヶ月後
皮膚症状	-	-	-	-	0.80 (0.03-19.1)
ストレス	-	4.47 (0.30-66.6)	0.26 (0.01-8.90)	-	-

調整OR (95% CI)  
性別、年齢、喫煙で調整

表 2 汚染物質の室内濃度と症状の関係

	アセトアルデヒド	総揮発性有機化合物	ダスト中エンドトキシン
(濃度単位)	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	EU/g
Med (Max-Min) (N=14)	7.3 (2.9-37.6)	329 (102-2460)	-
(オッズ単位)	1 µg/m <sup>3</sup>	10 µg/m <sup>3</sup>	1000 EU/g
4ヶ月後	皮膚症状	0.72 (0.32-1.64)	-
	鼻の症状	-	1.08 (0.84-1.39)
浸水被害あり	頭痛・めまい	1.02 (0.86-1.21)	1.00 (0.92-1.09)
	疲れやすい、体のだるさ	0.86 (0.47-1.56)	0.95 (0.85-1.07)
	高血圧	1.02 (0.84-1.24)	-
(濃度単位)	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	EU/g
Med (Max-Min) (N=14)	6.2 (1.9-133.1)	53.5 (1.6-962.8)	6377 (255-30902)
(オッズ単位)	1 µg/m <sup>3</sup>	10 µg/m <sup>3</sup>	1000 EU/g
11ヶ月後	皮膚症状	1.33 (0.72-2.45)	0.96 (0.55-1.68)
	鼻の症状	1.00 (0.97-1.03)	1.25 (0.87-1.80)
浸水被害あり	頭痛・めまい	-	-
	喘息やアレルギー	1.00 (0.96-1.05)	-
	疲れやすい、体のだるさ	0.98 (0.92-1.05)	0.94 (0.73-1.20)
	高血圧	0.81 (0.52-1.28)	0.57 (0.20-1.65)

調整OR (95% CI)  
性別、年齢、喫煙で調整

## 5. 主な発表論文等

(雑誌論文)(計 1 件)

1. 長谷川兼一, 石山智, 大澤元毅, 柳宇, 鍵直樹, 東賢一, 高木理恵: 実大試験家屋を用いた浸水シミュレーションによる床下湿気状況の長期測定, 日本建築学会技術報告集, 第 49 号, pp. 1117-1120, 2015.10

(学会発表)(計 13 件)

1. 柳宇, 長谷川兼一, 鍵直樹, 東賢一, 大澤元毅: 浸水後の住宅におけるカビ増殖特性に関する実験的な研究, 平成 27 年度空気調和・衛生工学会大会, 第 7 巻, pp. 93-96, 2015.9
2. 畑中未来, 柳宇, 長谷川兼一, 鍵直樹, 東賢一, 大澤元毅: 浸水被害住宅における真菌増殖に係る環境特性の解明, 平成 27 年室内環境学会学術大会講演要旨集, pp. 178-179, 2015.12
3. 西岡芙実, 鍵直樹, 大澤元毅, 金勲, 柳宇, 東賢一, 長谷川兼一: 木質材料から

- 発生する揮発性有機化合物の水分影響, 第 33 回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会予稿集, pp.256-258, 2016
4. 西岡芙実, 鍵直樹, 大澤元毅, 柳宇, 東賢一, 長谷川兼二, 金勲: 福知山における浸水住宅の室内揮発性有機化合物の実態調査, 第 25 回日本臨床環境医学会学術集会, p. 70, 2016.6
5. 西岡芙実, 鍵直樹, 大澤元毅, 柳宇, 東賢一, 長谷川兼二, 金勲: 揮発性有機化合物の浸水住宅における実測及び木質建材の水分による発生特性, 平成 28 年度空気調和・衛生工学会大会 第 7 巻, pp. 69-73, 2016.9
6. 西岡芙実, 鍵直樹, 大澤元毅, 柳宇, 東賢一, 長谷川兼二, 金勲: 木質建材から発生する揮発性有機化合物の水分影響評価, 平成 28 年室内環境学会学術大会講演要旨集, pp. 74-75, 2016.12
7. 東賢一, 鍵直樹, 柳宇, 金勲, 長谷川兼二, 大澤元毅: 福知山豪雨による浸水被害住宅における室内環境と居住者の健康影響に関する調査研究, 平成 28 年室内環境学会学術大会講演要旨集, pp. 316-317, 2016.12
8. 原田千聡, 鍵直樹, 西岡芙実, 東賢一, 柳宇, 大澤元毅, 金勲, 長谷川兼二, 萬羽郁子: 木材の乾燥方法と環境湿度が VOC 発生に与える影響, 第 34 回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会予稿集, pp.143-145, 2017.4.25-26
9. 新村美月, 柳宇, 鍵直樹, 長谷川兼一, 東賢一, 金勲, 大澤元毅: カビ増殖特性に与える木材の含水率の影響に関する検討, 日本建築学会学術講演梗概集, pp. 611-612, 2017.8.31-9.3
10. 原田千聡, 鍵直樹, 西岡芙実, 東賢一, 柳宇, 大澤元毅, 金勲, 長谷川兼二, 萬羽郁子: 木材から発生する VOC の特徴と住宅における実測調査, 平成 29 年度空気調和・衛生工学会大会, pp. 77-80, 2017.9.13-15, 高知
11. 原田千聡, 鍵直樹, 西岡芙実, 東賢一, 柳宇, 大澤元毅, 金勲, 長谷川兼一, 萬羽郁子: 木材を使用した住宅における室内 VOC 濃度の特徴, 平成 29 年室内環境学会学術大会講演要旨集, P20, 2017.12
12. F. Nishioka, N. Kagi, H. Osawa, U Yanagi, K. Hasegawa, K. Azuma, H. Kim: Influence of moisture against acetaldehyde emitted from wood-based materials, The 14th International Conference of Indoor Air Quality and Climate, 1068, 2016.7, Ghent, Belgium.
13. Kenichi Azuma, Naoki Kagi, U Yanagi, Hoon Kim, Kenichi Hasegawa, Haruki Osawa: Effects of exposure to water damage on homes after downpours and flooding in Fukuchiyama: indoor environment and human health, Healthy Buildings 2017 Asia, pp. 2-4, 2017.9.2-6, Tainan, Taiwan.
- 〔図書〕(計 0 件)
- 〔産業財産権〕
- 出願状況(計 0 件)
- 取得状況(計 0 件)
- 〔その他〕  
ホームページ等, 特になし
6. 研究組織
- (1)研究代表者  
大澤 元毅 (OSAWA Haruki)  
国立保健医療科学院・生活環境研究部・主任研究官  
研究者番号: 20356009
- (2)研究分担者  
金 勲 (KIM Hoon)  
国立保健医療科学院・生活環境研究部・主任研究官  
研究者番号: 00454033
- 鍵 直樹 (KAGI Naoki)  
東京工業大学・環境・社会理工学院・准教授  
研究者番号: 20345383
- 長谷川 兼一 (HASEGAWA Kenichi)  
秋田県立大学・システム科学技術学部・教授  
研究者番号: 50293494
- 柳 宇 (YANAGI U)  
工学院大学・建築学部・教授  
研究者番号: 50370945
- 東 賢一 (AZUMA Kenichi)  
近畿大学・医学部・准教授  
研究者番号: 80469246
- 本間 義規 (HONMA Yoshinori)  
宮城学院女子大学・生活科学部・教授  
研究者番号: 90331272