

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 15 日現在

機関番号：82602

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24360243

研究課題名(和文) 浸水に伴う室内環境と健康への影響解明及び被害低減方策に関する研究

研究課題名(英文) Indoor environment and health effect in water damaged house after flooding and countermeasure

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) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、水害被害のあった住宅において、住宅の物理的被害及び居住者の健康影響に関して、アンケート調査を行うことにより、被害状況について把握を行った。更に、被災住宅において室内及び床下の湿度状況と共に、浮遊微生物、揮発性有機化合物の測定、及び床下基礎表面に付着した微生物についても測定を行い、住宅の被害状況について明らかにした。また、浸水被害のメカニズムを把握するために、実大住宅を用いて浸水試験を行い、浸水後の床下湿度環境の実態の一端を明らかにするとともに、今後のシミュレーションを行うための基礎データとすることとした。

研究成果の概要(英文)：The time trends regarding health status of residents and changes in environmental quality of housing were systematically compared between water-damaged homes after flooding. A questionnaire survey was conducted on the physical and psychological conditions associated with the exposure to water damage in homes. The influence of various environmental risk factors, particularly housing-related variables on public health and hygiene was also examined. Moreover, airborne microbial matter and volatile organic compounds in the water damaged houses and fungi on the surface of under floors were measured. In order to clarify indoor climate in a crawl space after flooding, long-term experiment using a test house was performed. Tap-water was supplied to 100mm depth on a crawl space in each room, and after 72 hours it drained. Indoor humidity and water contents of wood and concrete in a crawl space were analyzed from the view point of moisture balance in a crawl space after flooding.

研究分野：建築環境・建築設備

キーワード：室内環境 湿気 ダンプネス 微生物 室内空気質

## 1. 研究開始当初の背景

地球温暖化に伴う気候激化や治水力の限界から、各地で洪水(浸水)災害が頻発し、それに伴って住宅においても居住環境の被害の深刻化と健康影響の増加が懸念されている。一方、我が国では省エネ性・居住性や耐震性の改善をめざした工法・設備・建材技術の革新が進み、断熱気密性をはじめとする諸性能は、目覚ましい進歩を続けている。しかし、これら技術革新や設計配慮は必ずしも防災を意図したものでなく、水害等の非常時には却って様々な被害を招く懸念がある。

IPCC の報告では、予てから地球温暖化による降雨の偏在・集中化、気候の激化に警鐘を鳴らし続けてきたが、それが現実になってきている。また近年では大規模豪雨が増え、治水当局は貯留強化(流出抑制)や堤防強化(処理量の拡大)など総合的な取組みを進めているが、厳しい財政事情や公共事業に係る社会情勢からその対応は十分とは言えない。

一方、都市部を中心に集中的降水が、局地的な排水処理能力を上回り、地下を流れる都市河川が地表面にあふれて水害に結びつく事態(内水氾濫)も多発している。

このように、洪水ハザードの存在を前提に住宅と居住者側の防衛力・回復力を高め、被災とそれに伴う健康リスクを軽減する努力が今後さらに必要とされるものと考えられる。

## 2. 研究の目的

本研究は、水害により被災した住宅に居住し続けることによる健康被害及び室内環境の状況を把握することを目的として、水害対策に係る技術動向、浸水時及びその後生じる居住環境上の被害と居住者への健康影響について蓄積した知見を活用して、被害・健康影響メカニズムと関連する建築技術の影響を、被災住民への健康に関するアンケート及び室内環境の実態調査と実験研究により明らかにし、浸水被害メカニズムの解明を実大住宅により把握することで、対策方法について提案を行うものである。なお、本研究においては、国立保健医療科学院研究倫理審査委員会にてNIPH-IBRA #10033として承認されている。

## 3. 研究の方法

### 3.1 被害実態と健康影響要因の解明

水害被害に関して、行政、住宅メーカへのヒアリング及び住宅の浸水による被害状況及び居住者の健康状態を把握するために、アンケート調査を行った。2004年～2010年に大きな床上・床下浸水被害を受けた地域の保健所を選定し、住民に対するアンケート調査の協力を得た保健所、また、事前のヒアリングで同調査の協力を得た市町を通じて、被災地域およびその周辺地域の住民に調査票を配付した。調査対象は、床上または床下浸水を受けた家屋、その対照として浸水被害を受

けていない家屋の住民とし、各世帯の代表者1名に回答していただいた。主な調査項目は、世帯と家屋の基本属性、周辺環境、地域の防災体制、被災時の被害状況、半年後までの家屋や家財等の処置、半年後までの室内環境と健康状態とした。

### 3.2 浸水住宅室内環境の実態把握

上述のアンケート等で協力の得られた住宅を対象に、住宅内の湿度、カビ・細菌などの状況の把握を行った。

測定対象住宅は事前のアンケート調査により協力が得られた住宅とし、同地域の浸水被害を受けている住宅及び対照として被害を受けていない住宅も測定した。測定項目は室内空気温湿度の長期間連続測定のほか、浮遊微生物、床面付着真菌量、揮発性有機化合物とした。

### 3.3 浸水被害メカニズムの詳細把握

床工法・断熱材種類や汚染内容、浸水深、浸水時間など、水害の多彩な状況を考慮しながら、被害状況を再現するシミュレーションと部位実験を実施し、的確な対策を講じるのに不可欠な浸水・排水による環境影響と清掃・消毒までの対策効果などのメカニズムを明らかにすることが重要である。

そこで、浸水後の床下湿度環境の実態の一端を明らかにするとともに、湿度性状の様相を理解することを目的とし、実大試験家屋を用いた床下浸水シミュレーションを行った。これは、居室と床下とも仕様が同一の2室を対象とした比較対照実験であり、浸水後の床下温度をパラメータとした。なお、両室とも第1種機械換気方式とし、南側壁面に設置された室内の給気口付近から室内空気を床下へ強制的に供給し、床下排気口から屋外へ強制的に排気する。換気ファンの供給電源の電圧を調整し、床下の換気回数が約1.0回/hに維持されるように設定した。なお、居室に対しては、換気回数0.5回/hが確保されるように、室扉上部に新たに排気ファンを設置して制御した。

浸水被害状況としては、浸水高さが100mmになるまで給水した。給水が完了した直後から72時間浸水状態を維持した後、ポンプで排水するとともに土間コンクリート表面の液水を拭き取った。実験では、温湿度、木材含水率、コンクリートコア含水率、換気量を測定した。

## 4. 研究成果

### 4.1 被害実態と健康影響要因の解明

行政側へのヒアリングでは、都市の水害被害については、ハザードマップ整備など情報提供が進み、保健所としては水害後の消毒・貯水槽汚染調査、廃棄物の監視等を担当している。また、感染症事例も少ない為、健康危機意識は薄いものの、保健所では、避難所での健康管理、清掃支援等(置に悪臭)に関係している。なお、短期的・即物的な人命・財産被害の防止が優先されることなどから、それに

続く居住環境問題、健康影響に関する認識は希薄であった。一方、住宅メカへのヒアリングの結果、浸水を防ぐための工法・仕様の技術開発は行われておらず、対策マニュアルなどの整備例も少ない状況であった。また、浸水後に床下排水には水勾配や排水ピットが有効だが、予め設けている例は少ないことが分かった。

居住者に対するアンケート調査の結果、部屋の湿気は、浸水被害後にじめじめしている家屋の割合が急増し、半年後までに徐々にその割合は低下していた。ただし、半年後でも浸水被害を受けていない家屋と比べてその割合は有意に高かった(図1)。この傾向は、部屋のカビと部屋の臭いでも同様であった。部屋の衛生害虫(蚊・ハエ・ネズミ・ゴキブリ等)の発生割合は、浸水被害後から上昇し、1ヶ月後に最大となり、半年後には低下していた。浸水による室内環境の衛生状態が悪化した後、衛生害虫が増大するまで多少時間差が生じていたと考えられる。

健康に関しては、健康状態が良くないと回答した居住者の割合は、浸水被害後に急増し、半年後までに徐々にその割合は低下していた。ただし、半年後でも浸水被害を受けていない家屋と比べて有意に高かった(図2)。室内環境の悪化とともに、居住者の健康状態にも同様の影響が現れている可能性もあるが、人的あるいは物的被害に伴う精神的被害の影響も強いと考えられる。居住者の症状や疾患等について、浸水被害を受けていない住民に対する被災住民の調整オッズ比で検討すると、呼吸器症状、皮膚症状、眼や鼻の症状の調整オッズ比は、浸水被害がない住宅に比べて浸水被害を受けた住宅では、浸水被害後1週間以内で有意に高かった。従って、これらの症状を引き起こす何らかの室内環境汚染が生じている可能性が考えられる。また、頭痛やめまい、ストレス、抑うつについては、浸水被害後半年まで浸水被害を受けた住宅では有意に調整オッズ比が高かった。特にPTSDは、半年後に調整オッズ比が有意に高くなった。従って、浸水被害後は、長期間にわたり精神面での強い影響を受けていることが明らかとなった。これらの症状や疾患について、どのような環境等の要因の影響を受けているかを評価するために、建築時期、住宅構造、内装材(床材、壁材)、室内環境(湿気、カビ、衛生害虫)、周辺環境の影響を解析したところ、工場周辺の家屋では1週間以内の呼吸器症状、廃棄物焼却施設周辺では1週間以内の鼻の症状で調整オッズ比が有意に高く、これらの施設の影響を受けている可能性が示唆された。また、1週間以内の部屋の湿気が多いほど、ストレスや不安症状が増大する傾向が示唆された。なお、浸水家屋における化学物質等の汚染の実態については、周辺環境からの影響を含めて、詳しく調査する必要があると考えられる。

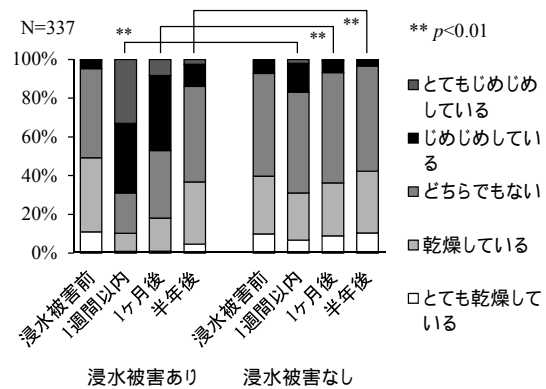


図1 アンケートによる部屋の湿気の状態

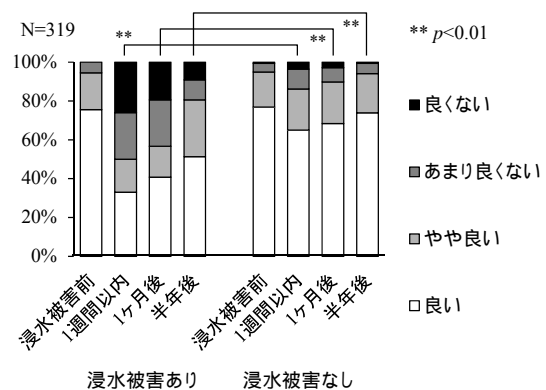


図2 浸水被害による健康状態について

#### 4.2 浸水住宅室内環境の実態把握

床面近傍の温度と相対湿度、室内の温度と相対湿度については、浸水の有無による明確な差は見られなかった。

堆積真菌量を図3に示す。図中のA, P, W.S, Eu, C, A.n, F, Y, My, etcはそれぞれ *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Walleria.sebi*, *Eurotium* sp., *Cladosporium* sp., *Alternaria* sp., *Fusarium* sp., Yeast, mycelia, その他の略である。主な菌種としては、*Cladosporium* sp., *Penicillium* sp., *Aspergillus* sp., Yeastなどが検出された。また、浸水被害有りの住宅では、特に好湿性真菌の *Cladosporium* sp.や Yeastが比較的多かった。平均床面堆積真菌量は住宅、居間共に浸水被害有りの場合は4.9cfu/cm<sup>2</sup>、住宅に浸水被害有り、居間に浸水被害無しの場合3.1cfu/cm<sup>2</sup>、被害無しの場合は2.5cfu/cm<sup>2</sup>となり、居間共に浸水被害ありの方が高い値を示した。特に堆積真菌量が高かった住宅に関しては、床上・机上の平均相対湿度が80-90%の間にあることで好湿性真菌の Yeastが顕著に検出された。

寝室に101cm以上の浸水被害を受けた住宅では床面近傍の平均相対湿度が83%と高くなったことで、床面堆積真菌として好湿性真菌の *Cladosporium* sp.が5.0cfu/cm<sup>2</sup>検出されたと考えられる。このことから、室内の温度制御、とくに気流の攪拌による床面近傍の温度の上昇、すなわち相対湿度の低下対策が力

ビ汚染の低減になることが示唆された。

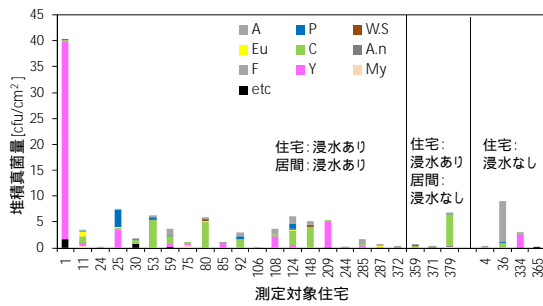


図3 床面堆積真菌量

室内浮遊真菌濃度の結果を図4に示す。室内からは、いずれの住宅においても好湿性真菌の *Cladosporium* sp., Yeast 及び好乾性真菌の *Aspergillus* sp. が検出された。80 宅, 108 宅, 287 宅, 244 宅は、室内浮遊真菌濃度が室内の濃度の維持管理規準値である  $1000\text{cfu}/\text{m}^3$  を超えた。特に 85 宅においては、居間を含む2室共に *Penicillium* sp. が高濃度に検出された。

床面堆積真菌に関しては、主に *Cladosporium* sp., *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., Yeast が検出された。そして、床下環境の調査を行った浸水有りの 80 宅, 108 宅, 124 宅は共に室内の床面よりも床下の方が10倍以上も堆積真菌量が多い結果となった。付着真菌の培養後の観察では、それぞれ *Aspergillus* sp. 及び *Penicillium* sp. が多くを占めていた。よって、床下表面の真菌による汚染が顕著であり、室内に侵入することがあれば、室内汚染の原因となる可能性が示唆される。

なお、浸水有りの3軒の床下堆積真菌量は床面堆積真菌量の10倍以上多い結果となり真菌汚染が顕著であったことが明らかになった。一方、床上の付着真菌が居住者の住まい方などに関係するため、必ずしも床下環境中の真菌の種類とは一致しておらず、床下環境中の真菌による室内への影響の解明は今後の課題となる。

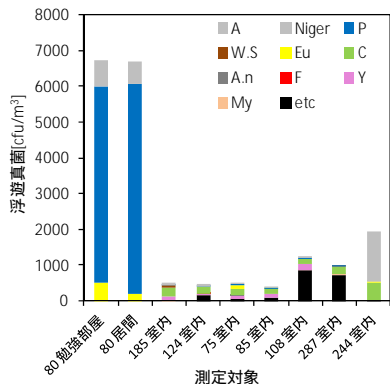


図4 浮遊真菌濃度

室内揮発性有機化合物については、厚生労働省の化学物質濃度指針値に関する物質に

ついては、調査中において喫煙が行われていた住宅を除けば、厚生労働省の指針値を超過する場所はなかった。また、TVOCについては厚生労働省の暫定目標値  $400\mu\text{g}/\text{m}^3$  を超過する室内がほとんどで、超過しなかったのは2箇所のみであった。この一つの住宅においては、浸水後窓開け換気を積極的に行っているとのことで、調査日当日も窓を開放している状態であった。

浸水に伴うカビの発生により生成するMVOCによる室内濃度への影響の可能性を検討するため、MVOCと考えられている物質の濃度を図5に示す。これらの物質は、カビ以外にも発生源は存在するが、80 宅の居間, 124 宅の居間及び床下において1-ブタノールが、80 宅床下において2-プトキシエタノールが比較的高濃度で検出された。何れも浸水被害の住宅であるが、その他の住宅においては被害のあった住宅でも非常に低い濃度であった。図6にテルペン類及び2-エチル-1-ヘキサノール濃度の結果を示す。 $\alpha$ -ピネン、リモネンについては木材から及び家庭用の消臭剤から発生する物質であり、124 宅, 75 宅, 85 宅, 108 宅, 365 宅で比較的高い濃度であった。また、124 宅の床下でも同様に高い値となっており、消臭剤など家庭用品とともに修繕した内装材及び床下で使用されている木材が発生源であると考えられる。また、2-エチル-1-ヘキサノールの発生源として、塩化ビニル等に含まれている可塑剤とコンクリート中水分との化学反応による発生が知られているが、80 宅の居間・床下, 287 宅及び244 宅の居間で検出された。内装材の浸水による影響が考えられる。

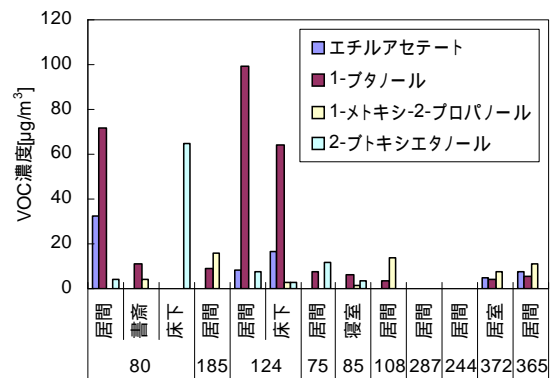


図5 MVOCに関連する物質の濃度結果

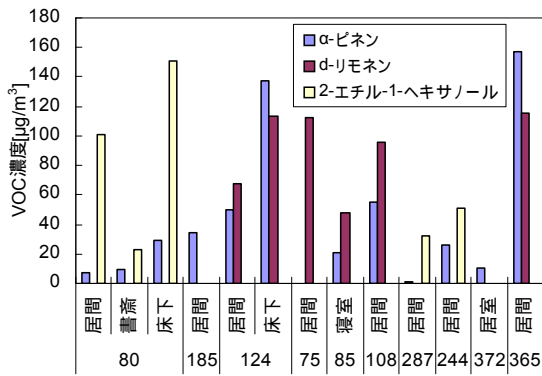


図6 テルペン類及び2-エチル-1-ヘキサノール濃度の結果

#### 4.3 浸水被害メカニズムの詳細把握

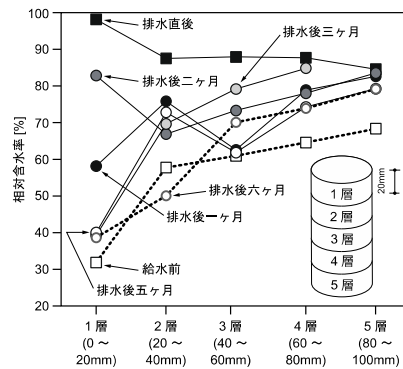
測定期間中の日平均温湿度の変動としては、B室の床下温度は、エアコンの暖気を供給しているため20程度で推移していた。A室の温度は成りゆきであり、外気温の低下に伴いA室の温度も低下している。両室を比較すると、B室でエアコンの運転を開始した排水直後(10月17日)から両室の差が広がり、12月30日時点では約10の差が見られた。両室の床下相対湿度は排水直後に100%付近まで上昇しているが、排水後約1ヶ月になると、B室は60%まで低下していた。また、B室の床下絶対湿度は給水前から高い値で推移しているが、排水後にA室と同程度になった。B室は暖気を床下へ供給しているため、A室よりも床下空間が早く乾燥したと考えられる。

床下中央の大引きの日平均木材含水率の変動については、給水前の含水率はA室が約13%であるのに対し、B室は約17%でA室より高い状態である。A室では、給水直後から含水率が上昇し、排水後には定常に達し、その後緩やかに低下している。一方、B室の含水率は給水直後から排水前日の10月16日まで上昇し、排水日から低下し始めていた。排水は排水日の日中に実施しているため、日平均とすると前日より値が小さくなった。B室では暖気を床下に供給したため、排水直後から放湿がA室よりも顕著であったと考えられ、12月30日時点で給水前より約6%低下した。

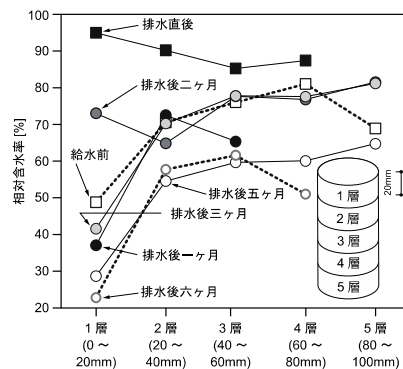
図7にコンクリートコアの相対含水率を示す。給水前の含水率はA室と比較してB室が10~15%高いが、排水直後は両室共に含水率が85~100%となり、排水直後の状態はA室とB室でほぼ同等になったといえる。給水前と排水直後を比較すると、第1層(表層から20mm)は吸水量が大きく、第2層以降(表層から20mmより深い部分)では給水量が小さい。排水2ヶ月後までは、水分移動が激しいと予想される表層付近で値にばらつきがあるが、全体的な傾向として、両室共に給水前の状態に近づいている。また、A室とB室で大きな差が見られなかったため、この実験の範囲で

は、暖気を床下に供給しても土間コンクリートの乾燥に及ぼす影響は小さいといえる。

図8にA室、B室の床下絶対湿度の関係を示す。10月17日(排水)から11月24日頃まではB室の絶対湿度が高いが、経過に伴い両室の差は縮まり、12月8日以降、B室の絶対湿度はA室より低くなっている。10月17日から11月24日頃までB室の絶対湿度が高い理由として、コンクリートからの放湿は両室で顕著な差が見られないことや、排水直後から約1ヶ月間、A室の木材が吸湿していたのに対し、B室では排水直後から木材からの放湿が影響していると考えられる。



a) A室



b) B室

図7 コンクリートコアの相対含水率

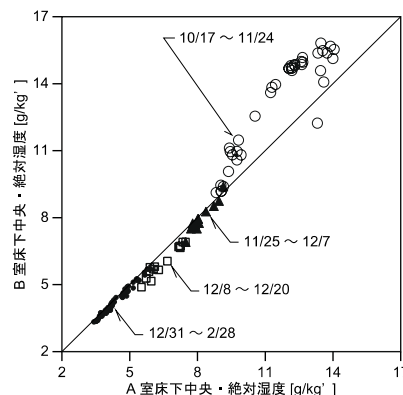


図8 A室、B室の床下絶対湿度の相関

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3 件)

Azuma K, Ikeda K, Kagi N, Yanagi U, Hasegawa K, Osawa H: Effects of water-damaged homes after flooding: health status of residents and environmental risk factors, International Journal of Environmental Health Research, Volume 24, Issue 2, pp. 158-175, March 2014, DOI:10.1080/09603123.2013.800964.

Kenichi Hasegawa, Hiroshi Yoshino, U. Yanagi, Kenichi Azuma, Haruki Osawa, Naoki Kagi, Naohide Shinohara, Asako Hasegawa: Indoor Environmental Problems and Health Status in Water-damaged Homes due to Tsunami Disaster in Japan, Building and Environment. Indoor Environmental Problems and Health Status in Water-damaged Homes due to Tsunami Disaster in Japan, DOI: 10.1016/j.buildenv.2015.02.040.

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, 2015.10

〔学会発表〕(計 9 件)

大澤元毅, 柳宇, 東賢一, 鍵直樹, 池田耕一, 長谷川兼一: 研究概要と対策状況・動向に関する調査 水害による住宅の被害と健康影響に関する研究 その1, 日本建築学会学術講演梗概集, pp. 591-594, 2012.9

東賢一, 池田耕一, 鍵直樹, 柳宇, 長谷川兼一, 大澤元毅: 浸水被害住宅における室内環境と居住者の健康影響 水害による住宅の被害と健康影響に関する研究 その2, 日本建築学会学術講演梗概集, pp. 595-598, 2012.9

柳宇, 大澤元毅, 鍵直樹, 東賢一, 長谷川兼一, 池田耕一: 水害による住宅の被害と健康影響に関する研究 その3 温湿度と付着微生物の予備調査の結果, 日本建築学会学術講演梗概集, pp. 599-563, 2012.9

鍵直樹, 柳宇, 東賢一, 長谷川兼一, 池田耕一, 大澤元毅: 浸水被害住宅における室内環境の詳細実態調査 水害による住宅の被害と健康影響に関する研究 その4, 日本建築学会学術講演梗概集, pp. 603-636, 2012.9

長谷川兼一, 吉野博, 柳宇, 東賢一, 大澤元毅, 鍵直樹, 篠原直秀, 長谷川麻子, 大竹徹: 震災関連住宅における温熱・空気環境に関する調査 第28報 津波による浸水被害住宅を対象とした調査(1) 調査概要と基礎アンケート調査の結果, 日本建築学会学術講演梗概集, pp. 841-842, 2013.8.30-9.1

柳宇, 鍵直樹, 東賢一, 長谷川兼一, 大澤元毅: 知多半島浸水住宅における室内真菌汚染の実態調査, 日本防菌防黴学会第40回年次大会要旨集, p.107, 2013.09.10

長谷川兼一, 大澤元毅, 柳宇, 鍵直樹, 東賢一, 松本真一, 高木理恵, 細淵勇人: 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性状の長期測定, 平成26年度空

気調和・衛生工学会大会, pp. 169-172, 2014.9  
Kenichi Azuma, Koichi Ikeda, Naoki Kagi, U Yanagi, Kenichi Hasegawa, Haruki Osawa: Indoor Environment and Health effects in Water-Damaged Homes after flooding, 10th International Conference of Healthy Buildings 2012, 7H.5, 2012.7.8-12, Brisbane, Australia.

U Yanagi, Naoki Kagi, Kenichi Hasegawa, Kenichi Azuma, Koichi Ikeda, Haruki Osawa: Indoor Floating and Floor Mould in Water-Damaged Houses after Flooding, 10th International Conference of Healthy Buildings 2012, 7H.9, 2012.7.8-12, Brisbane, Australia.

〔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〕

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

鍵直樹 (KAGI NAOKI)

東京工業大学・大学院情報理工学研究科・准教授

研究者番号: 20345383

(3)研究分担者

柳宇 (YANAGI U)

工学院大学・建築学部・教授

研究者番号: 50370945

(4)研究分担者

東賢一 (AZUMA KENICHI)

近畿大学・医学部・講師

研究者番号: 80469246

(5)研究分担者

長谷川兼一 (HASEGAWA KENICHI)

秋田県立大学・システム科学技術部・教授

研究者番号: 50293494