

平成 26 年 6 月 11 日現在

機関番号：31307

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2010～2013

課題番号：22246076

研究課題名(和文) 戸建住宅の躯体内部空間の空気質制御に関する研究

研究課題名(英文) A study on control of air quality in concealed spaces of detached houses

研究代表者

林 基哉 (HAYASHI, Motoya)

宮城学院女子大学・学芸学部・教授

研究者番号：40320600

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 31,300,000円、(間接経費) 9,390,000円

研究成果の概要(和文)：住宅の隙間ネットワーク及び通気性状、室内空気質への影響に関する知見に基づいて、躯体内部空間の空気質測定法の指針を明らかにすることを基本目的とし、スライスモデルを用いた躯体内部空間の温湿度気流性状、カビ挙動性状の把握、実験用構造体を用いた躯体内部空間の空気質測定法の開発、シミュレーションによる躯体内部空間の空気質制御方法の検討を行った。研究の結果、躯体内部空間における汚染物質が、機械換気及び自然換気動力による通気に伴って隙間ネットワークの中で挙動し、室内空気質に影響することを、化学物質及びカビについて確認し、床下の躯体内部空間の空気質制御法の基礎を構築した。

研究成果の概要(英文)：In order to make a guide for controlling air quality in concealed spaces to keep indoor air quality better, following studies were carried out on the basis of former studies on characteristics of airflow in leakage network of detached houses and their influences upon indoor air quality. Characteristics on thermal conditions and movement of molds were investigated using sliced structure of common houses. Measurement methods of air quality in concealed spaces were investigated. Methods to control air quality in concealed spaces were investigated using simulation programs. These studies showed that not only chemical compound but also molds moves on leakage network of house by pressures of mechanical ventilation system. Basic condition of air quality in concealed spaces (crawl space, wall cavity, etc.) to keep indoor air quality was described.

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：空気環境

1. 研究開始当初の背景

(1) 基盤研究 B (H18-H21) 「住宅の躯体内部通気が室内空気質に与える影響」では、隙間ネットワークを介した躯体内部空間(床下、壁内、天井裏等)からの汚染物質の室内侵入による室内空気質への影響が確認され、2003年の建築基準法改正における躯体設計及び換気設計における配慮の必要性が再確認され、対策要素の効果に関する知見を得た(図1)。躯体内部空間における汚染物質発生源の使用抑制は重要であるが、汚染物質の侵入経路の遮断(通気止め等)の効果は限定的である。また、室内を正圧にすることで侵入防止は非常に効果的であるが、排気する空間(浴室や台所等)を含めて建物全体での侵入防止のための、室内と内部空間との気圧差制御は、高度な換気設計手法が必要で実用性が低い。また、床下空間ではクロルピリホスの使用禁止後における代替化学物質と高湿に伴うカビ増殖による汚染物質発生に注目し、その室内への侵入に関する危険性の把握が望まれた。

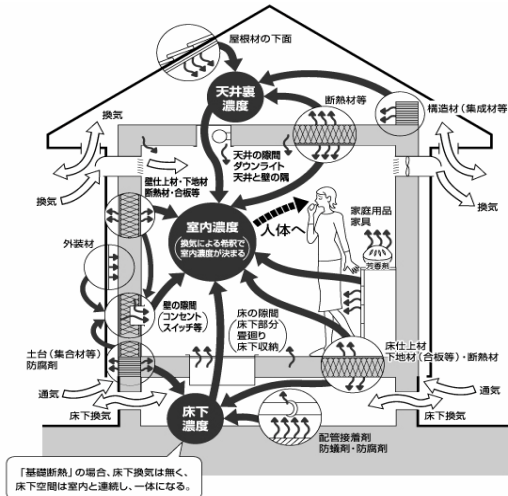


図1 躯体内部空間の室内空気質への影響

2. 研究の目的

本研究では、既往研究で明らかとなった住宅の隙間ネットワーク及び通気性状、室内空気質への影響に関する知見に基づいて、躯体内部空間の空気質測定法の確立と実住宅等による検証、空気質制御の指針を明らかにすることを基本目的とし、具体的には以下の3つ研究及び目的を設定した。

(1) 研究1：スライスモデル(図2)を用いた躯体内部空間の温湿度気流性状、カビ挙動性状の把握

隙間ネットワークを介したカビの室内侵入の可能性を明らかにするために、カビの増殖に関わる断熱材内及び床下に注目した。床下については、温湿度、床下空間内気流について、断熱材内については、温湿度、断熱材内気流、カビの透過性状について、性状を明らかにすると共に、隙間ネットワークを介した

カビの挙動性状に関する基本データを入力することを目的とした。



図2 在来木造構法のスライスモデル

(2) 研究2：実験用構造体を用いた躯体内部空間の空気質測定法の開発

躯体内部空間空気の汚染物質濃度及びその推移を測定する方法を確立するために、躯体内部空間のカビ濃度の連続測定法に注目した。壁の断熱材内等狭窄空間からの空気採取については、エアサンプラーを応用した方法(図3)の検証、チューブを介する吸引法の可能性、床下等の空間については、従来のエアサンプラーによる測定の検証とチューブの利用の可能性を明らかにすることを目的とした。また、躯体内部を含めたカビ汚染の実態に関する基礎データを入力することを目的とした。

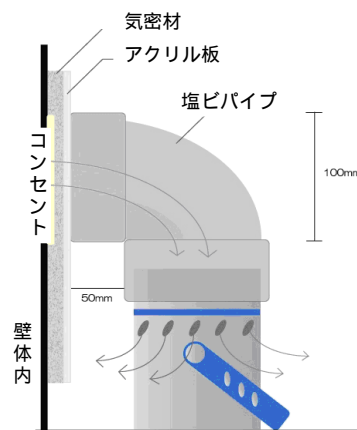


図3 壁体内の簡易カビ測定法

(3) 研究3：実験及び測定結果、シミュレーションによる躯体内部空間の空気質制御方法の検討

隙間ネットワーク及び躯体内部空間における化学物質及びカビ等汚染物質の挙動に関する実験結果を用いて、汚染物質の挙動に関するモデルを構築することを目的とした。また、空間内の気流に関する可視化、CFD解析によって、モデルの妥当性を検討することを目的とした。

以上によって、隙間ネットワークの存在を前提に室内空気汚染を防止するための躯体内部空間の空気質維持の必要性及び維持方法についての指針を示す基礎とすることを、最終目的とした。

### 3. 研究の方法

以下に各研究に必要な方法を用いた。

#### (1) 研究1：スライスモデルを用いた躯体内部空間の温湿度気流性状、カビ挙動性状の把握

床下空間については、床下のカビ増殖を確認するためのファイバースコープカメラ、気流に伴うカビの挙動を把握するために気中のカビ自体をとらえるレーザー照射と高感度ビデオカメラを用いた。発煙による気流の可視化を併用して、スライスモデル及び床下空間を含む実験構造体で、気流性状の把握を行った。

断熱材内については、実験チャンバー内の繊維系断熱材に透気を発生させて、水分移動を湿度計で把握すると共に、カビを透過させて透過性状に関する測定を行った。

隙間ネットワークのカビ挙動については、部分スライスモデルを用いて、トレーサガス、カビを想定した疑似粉体、カビを用いて、床下から壁体内部を介して室内に侵入する挙動に関する測定を行った。また、バスユニットを含む実験棟を用いて、カビが床下からバスユニット周囲の隙間経路、天井裏を介して室内に侵入する挙動に関する測定を行った（図4）。

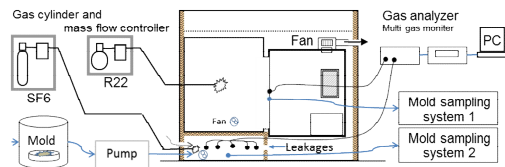


図4 バスユニット実験棟によるカビの挙動実験

#### (2) 研究2：実験用構造体を用いた躯体内部空間の空気質測定法の開発

壁の断熱材内等狭窄空間からの空気採取については、チューブを介する吸引法の可能性を検証するために、チャンパー内にカビを供給して、長さの異なるチューブで吸引して、捕集率を測定した（図5）。

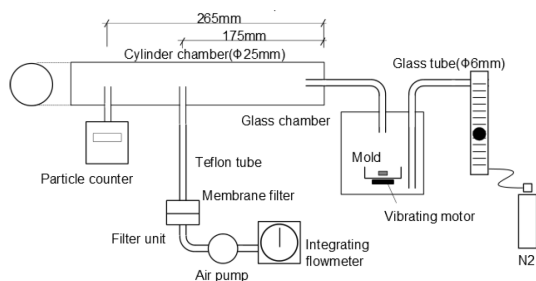


図5 チューブによるカビ濃度測定法の検証

床下等の空間については、従来のエアースンプラー測定時気流による土間面のカビの巻き上げに関する検証を行った。また、チューブの利用の連続カビ測定システムを作成して、測定を行った。

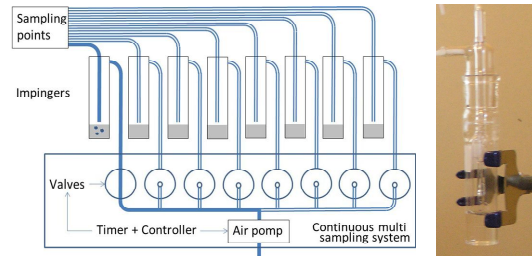


図6 チューブ採取連続カビ濃度測定機

以上に並行して、躯体内部を含めたカビ汚染の実態データを入手した。

#### (3) 研究3：実験及び測定結果、シミュレーションによる躯体内部空間の空気質制御方法の検討

隙間ネットワーク及び躯体内部空間における化学物質及びカビ等汚染物質の挙動に関する実験結果を用いて、汚染物質の挙動に関するモデルを構築し、非定常熱負荷換気濃度シミュレーションプログラム“Fresh”の機能追加を行った。

### 4. 研究成果

本研究では、躯体内部空間における汚染物質が、機械換気及び自然換気動力による通気に伴って隙間ネットワークの中で挙動し、室内に侵入して空気質に影響することを、化学物質ばかりではなくカビについても確認した。これに基づいた躯体内部空間の空気質制御の考えかたの基礎を構築した。

床下空間のカビ種及び濃度は、床下換気を行う従来の床下、基礎断熱された床下の場合、特有の推移を示している。床下空間のカビは、基本的には外気に由来するが、外気や土間及びコンクリート発生の高湿で高湿になりやすい床下の材料表面やダストでの増殖も見られる。床下空間内のカビ数が外気や室内よりも多い場合があり、室内空気汚染源と考える必要があることが明らかとなった。床下換気口がある場合でも、床下空気は隙間を介して侵入するが、基礎断熱の場合において、床下の空気及びカビが室内空間に侵入することも、トレーサガス法、疑似粉体及びカビでの実験、気流の可視化などによって、明らかとなった（図7）。

特に、床下空間と天井裏との間に比較的大きな経路を作る可能性がある場合（バスユニット等）には、第3種換気によって床下の空気及びカビが天井裏に侵入し、さらに多様な経路で室内に侵入することが、バスユニット棟の実験で確認された。床下空気中のカビにつ

いては、実住宅で発生しうる室内負圧によって、トレーサガスや化学物質と同様に挙動し、室内に侵入することが明らかとなった。躯体内部でのカビの繁殖場所として、繊維系断熱材内部がある。断熱材内部には、外気、室内空間及び床下空間から通気があり、これに伴うカビの侵入と水分量が多い場合の増殖が、室内空気汚染の原因となると考えられる。繊維系断熱材内は、フィルムで包まれている場合があるが、実際の施工では寸法調節やコンセント等のボックスや配線等の取り合いで切断されることがある。これらの欠損部からの通気が、カビの挙動の経路となっている。繊維系断熱材自体は、カビの温床になるとともに、チャンバーでの実験によれば、フィルター効果も持っている。このような複雑な現象が壁内部で起こる可能性があることが明らかとなった。

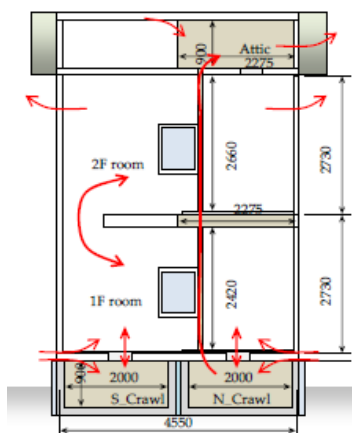


図7 実験棟における気流性状

躯体内空気質の測定法については、気中のカビ濃度の測定法に関する開発と検証を行った。断熱材内などの狭窄空間からのカビの吸引については、チューブ内での吸着の影響があることを確認した。採取については、フィルター法、培地への衝突法、液中採取を試行した。また、それらを用いた連続測定システムを開発した。床下空間については、既往の実態調査で用いられたエアースンプラーでの採取において、周辺気流を可視化して土間面からの巻上げが顕著ではないと考えられることを確認した(図8)。



図8 エアースンプラー周辺の気流可視化実験

以上を踏まえたシミュレーションプログラム”Fresh”を用いて、化学物質に加えてカビの室内濃度推移を検討した(図9, 図10)。住宅構法毎の特性、換気種別の影響を踏まえて、室内空気質維持の要点を得た。室内の化学物質濃度の抑制には、内部空間での発生量の抑制が必要であると同様に、床下のカビ濃度の抑制が望まれる。外気から床下へのカビの侵入は避けられないが、床下の湿度を抑えて、増殖を抑制することが必要である。床断熱における床下空間の換気量は、特に基礎パッキンによる床下では換気量が少なくなる他、自然換気動力の要因で多様である。また、外気の温湿度に影響されて床下空間の温湿度は推移するため、その想定は難しい。床下空間と室内空間を遮断することは、侵入対策として有効であるが、夏期通風時の床下空気の外部経路の室内侵入も考えられる。基礎断熱の場合、室内のカビが床下に侵入して増殖することで、室内濃度を高めることが考えられるが、基礎断熱の床下の温湿度は一定の制御が可能で、カビの増殖を抑制できる可能性がある。

化学物質に加えてカビに関する戸建て住宅における挙動を、隙間ネットワークを用いて明らかにすることで、室内空気質の維持向上のための、躯体設計、換気設計に関する基本的な考え方を示した。

Ambient temperature: 13.9C Wind direction: 196.2deg Wind speed: 3.4m/s  
95/04/01 00:30:00

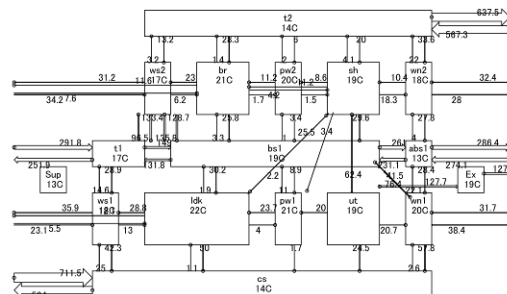


図9 在来構法の第3種換気時の通気性状

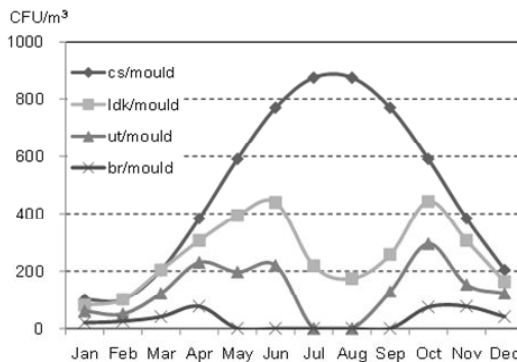


図10 在来構法第3種換気時の床下由来カビの濃度年推移

## 5 . 主な発表論文等

### 〔雑誌論文〕(計 8 件)

Motoya Hayashi, Yoshinori Honma, Masanori Sugawara, Dwellers' habit of opening windows in detached houses in cold and hot-humid climate of Japan, Journal of Environmental Protection, 2014, 1-9

Motoya Hayashi, Mao Tanaka, Yoko Hirano, Improvement of Traditional Japanese Houses and Indoor Air Quality - Measurements on Infiltration and VOCs in Three Test Houses-, 宮城学院女子大学生生活環境科学研究所研究報告 No.46、2014、23-28

Motoya Hayashi, Haruki Osawa, Decline of VOC Concentrations with the Aging of Houses in Japan, Journal of Environmental Protection, 2013, 33-40  
山田裕巳, 松下和彦, 田辺新一, 林基哉, 建材選定が室内化学物質濃度に与える影響に関する実験 室内環境, Vol. 16 No.1, 2013, 23-34

Motoya Hayashi, Yoshinori Honma, Haruki Osawa, The influence of the chemical pollution sources upon the indoor air quality in detached houses, INTECH JOURNAL, AIR QUALITY NEW PERSPECTIVE Chapter 4, 2012, 71-90  
林基哉, 大澤元毅, 内部建材の化学物質放散が室内空気質に与える影響 戸建住宅の構造内部空間から室内空間への侵入率日本建築学会環境系論文集 No.676, 2012, 676-683

林基哉, 大澤元毅, 内部建材からの化学物質の室内侵入経路に関する測定 木造軸組構法と木造枠組壁構法の戸建住宅の隙間ネットワーク 日本建築学会環境系論文集 No.675, 2012, 375-383

Motoya Hayashi, Seasonal Change of Ventilation and IAQ in Houses with Hybrid Ventilation Systems, 宮城学院女子大学生生活環境科学研究所研究報告 No.42, 2010, 1-5

### 〔学会発表〕(計 10 件)

Motoya Hayashi, Haruki Osawa, PREDICTION OF INDOOR AIR QUALITY IN HOUSES WITH CONCENTRATION CONTROL VENTILATION SYSTEMS CONSIDERING THE CONCEALED AIR LEAKS AND DWELLERS OPENING BEHAVIOUR, Building Simulation 2013, 2013, 565-572

Motoya Hayashi, Haruki Osawa, Kenichi Hasegawa, Yoshinori Honma, Hiromi Yamada, Experiments on Infiltration of Mold from Crawl Space under the Prefabricated Bathroom, CLIMA 2013, 2013, ID:296 (1-8)

Hiromi Yamada, Motoya Hayashi, Haruki Osawa, Kenichi Hasegawa, Yoshinori Honma, Experiments on a Method to Measure Mold Concentration in a Wall Cavity Using a Teflon Tube, CLIMA 2013, 2013, ID:711 (1-8)

Yoshinori Honma, Motoya Hayashi, Kenichi Hasegawa, Haruki Osawa, Hiromi Yamada, The Relationships Between the Indoor Air Pollution and the Air Quality in the Crawl Space Using Full-Scale Experimental House, CLIMA 2013, 2013, ID:428 (1-8)

Kenichi Hasegawa, Motoya Hayashi, Yoshinori Honma, Haruki Osawa, Influence of the crawl space upon the indoor air quality The measurements of the pollution by mould in the crawl spaces and the indoor spaces in Japanese houses, Healthy Buildings, 2012, (1-8)

Motoya Hayashi, Haruki Osawa, Kenichi Hasegawa, Yoshinori Honma, Influence of the crawl space upon the indoor air quality The numerical experiments on the indoor air quality considering the infiltration from crawl space, Healthy Buildings, 2012, (1-8)

Haruki Osawa, Motoya Hayashi, Kenichi Hasegawa, Yoshinori Honma, Current state of Basement layouts in Japanese houses Awareness of crawl space design on indoor air quality, Healthy Buildings, 2012 (1-2)

Motoya Hayashi, Yoshinori Honma, Masanori Sugawara, Prediction Of Indoor Air Quality Considering Dweller's Opening Behavior Based On The Measurements On The Opening Habit In Houses, INDOOR AIR 2011, 2011, IDa610(1-8)

Mao Tanaka, Motoya Hayashi, A Study On Improvement Of Traditional Japanese Houses Considering Indoor Comfort And Energy Saving Using Three Test Houses, INDOOR AIR 2011, 2011, IDa697(1-8)

Motoya Hayashi, Yoshinori Honma, Masanori Sugawara, A Study on Dwellers' Habit of Opening Windows in Cooling Climate of Japan, CLIMA 2010、2010, R6-TS30-PPD1 (1-8)

### 〔図書〕(計 3 件)

林基哉, 健康・快適な住宅づくりのチェックポイント 日本建築学会編 オーム社, 2013, 44-45, 136-137

林基哉, 特集『健康』でつくる省エネ住宅 日本における健康住宅の取り組み シックハウス法とその成果, 建築技術 2011年1月号 No.732, 2011, 126-127

林基哉、住宅総合研究財団編 現代住宅の  
研究の変遷と展望 -11-2 シックハウ  
ス、丸善、2010、244-247

6. 研究組織

(1) 研究代表者

林 基哉 (HAYASHI, Motoya)  
宮城学院女子大学・学芸学部・教授  
研究者番号：40320600

(2) 研究分担者

大澤 元毅 (OSAWA, Haruki)  
国立保健医療科学院・統括研究官  
研究者番号：20356009

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

本間 義規 (HONMA, Yoshinori)  
岩手県立大学・盛岡短期大学部・教授  
研究者番号：90331272