

「1/10組立模型を用いて地震に強い木造の家の仕組みと室内環境を体験してみよう」建築講座の活動報告 その2

“Let’s experience in 1/10 assembly model a strong wooden house mechanism to earthquake” architecture course of activity report Part 2

後藤 哲男
GOTO Tetsuo

広川 智子¹
HIROKAWA Tomoko

キーワード：建築教育、方法、模型
Keywords：Architectural education, technique, model

We performed hands-on lessons about architectural structure using a model of scale 1/10 until the last year. This year we carried out a hands-on lesson about the indoor environment using the same model.

Through this class, we have been studying the method of architectural education for junior high school students. This paper is its report.

1. はじめに

前報その1を受け、本稿では1/10組立模型を用いた壁材の事前実験と環境教育の方針に基づき環境講座「寒さに強い家をつくる－暑さに強い家もつくる－伝熱と断熱」を実践した。

幅広い反応を観察するため対象者は中学生から高校生とした。教育学的視点は引き続き新潟大学の飯野由香利教授²と新潟大学4年中田早香さんから協力頂き1年間の様々な建築講座の取り組みの成果を検証した。ちなみに建築講座は長岡造形大学特別研究費から長岡市内の3中学校の建築講座の運営に係る費用をあて、科学研究費助成事業(学術研究助成基金)の助成を受けながら今まで開発してきた方法の検証と新たな構造、環境、空間の教授法と効果について検証・分析しながら建築教育の研究を行っている。

環境講座の対象は中学生と高校生である。詳しい内容はその1に記載しているが、農業高校のみ実施していない。

本年の活動報告は、新潟大学飯野研究室の研究報告と2016年日本建築学会北陸支部大会に提出した研究論文³を

参考に、長岡造形大学大学紀要集に報告する。中学生を対象とした建築教育の独自報告書も併せて作成する。

2. 室内環境と講座内容のポイント

2011年の東日本大震災以降、エネルギーの問題が社会全体から家族、個人の身近な問題として顕在化した。しかし、一方で冷暖房、住宅設備などの機器の多様化により2013年には1972年から世帯あたりの家庭部門のエネルギー消費量が1.27倍⁴に増加している。この対策として、断熱・保温性能を備えた省エネ住宅の建設及び、住まい方やライフスタイルの変化が求められている。これらの結果を踏まえると中高生の時期から住まいの省エネに関する理解を深める必要があると考える。

そこで本研究では、1/10組立模型を用いた断熱実験装置を開発し、中高生に壁材の断熱性能を理解してもらうことを目的として実験を実践した(写真1, 2)。

本報前半では講座時の計測点や計測時間及び、計測精度について事前実験を行って得た実験指針と環境教育方法の方針について報告する。後半では、中高生を対象として伝熱・断熱に関する基礎的な実験と省エネ性についての理解を深めることを目的として環境教育を実践し、その効果について検証したことを報告する。



写真1 実験の様子



写真2 ネットシステムの確認

3. 断熱実験装置と実験の概要

3.1 断熱実験装置の概要

縮尺1/10組立模型の壁材の温度と熱流量の計測から断熱性能を調べる実験装置（以下、断熱実験装置と称する）を開発した。写真3の1/10組立模型は2間幅の柱間にある壁8面（①～⑧）と天井4面（A～D）及び30mm厚のフラッシュ板の床から構成される。

壁材の種類は、写真4の①アルミ、②鉄、③石（花崗岩）、④石（大理石）、⑤コンクリート、⑥ガラス、⑦アクリル、⑧石膏ボード、⑨ゴム、⑩木（杉）、⑪紙、⑫もみ殻、⑬ポリスチレンフォーム、⑭グラスウール、⑮木の粉（杉）の15種類を用意した。全ての壁材をアクリルケース（アクリル厚2mm、空洞10mm（壁材が入る）、アクリル厚2mm）に納めた。

空気層の壁材を含む16種類の壁材の熱伝導率を計測するために、壁の厚さを14mmに揃え、壁材と模型の土台、梁との密閉性を高めた。

壁材をアクリルケースに入れた理由は、教育実践において中高生がアクリル内部の材料を確認することができ、保温した際に火傷しないような安全性にも配慮したことがあげられる。

8畳間に相当する実験空間（写真3）内の中央に取り付けた保温電球30Wで発熱（暖房）し、天井中央にファンを設置して暖気を攪拌する。使用した計測機器等を表1に示す。

3.2 講座実践時の実験概要

模型8面の壁のうち5面を空気層とし、3種類の壁材を班毎に選択する。選択した壁材と空気層の壁材の内側と外側の壁面中央地点を事前に印をつけT型熱電対を取付け、更に1種類の壁材の外側に熱流計を貼る。同時に模型内外の空気温度も熱電対で計測する。

さらに、この実験を一齐に行うネットシステム（図1）を整備した。模型1台につき1班とし、2班で電源ユニット+通信ユニット+入力ユニット+パソコンを1セットとして、5セットをLANケーブルでハブに繋ぎ6台目のパソコンにデータを集録する。講座中に集録したデータをパソコンにてグラフ化しプロジェクターで投影できるようにする。

4. 事前実験

4.1 事前実験の概要

断熱実験装置を用いて熱伝導率の違いによる壁材の断熱性能に関する実験を行うために、測定点の検討、定常状態までの時間、壁材を納めるアクリルケースの有無による熱伝導率の比較等を行った。さらに、断熱実験を行う上での生徒の理解度を向上させるための方法を検討した。

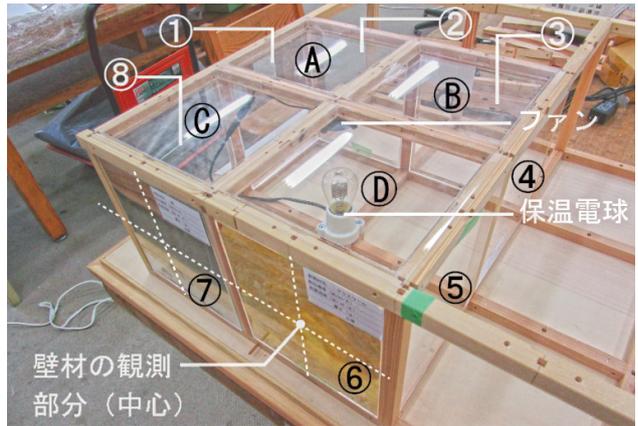


写真3 1/10組立模型の概要

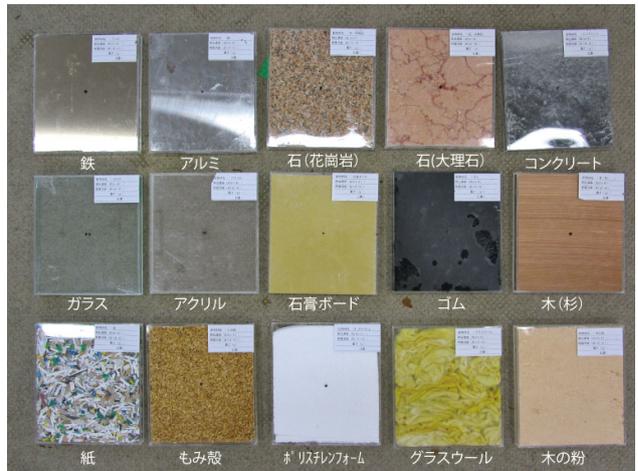


写真4 15種類の壁材

表1 計測装置の機器

項目	機器
各壁材表面温度計測	熱電対 (T 型式 VT3、φ 0.32mm)
各壁材表面熱流計測	熱流計 (江藤電機株式会社 M55A、H50 × W50 × D7)
データロガ	電源ユニット (株式会社ノー KE-3100-000)
	通信ユニット (株式会社ノー KE-3200-E00)
	入力ユニット (株式会社ノー KE331L-000)
サーモカメラ	株式会社ノー 875-11 株式会社ノー CPA-E4
暖房を仮定した保温電球	旭光電気工業株式会社 ミニ本電球 30W
ファン	ICFAN 製 DC12.0V 0.011A

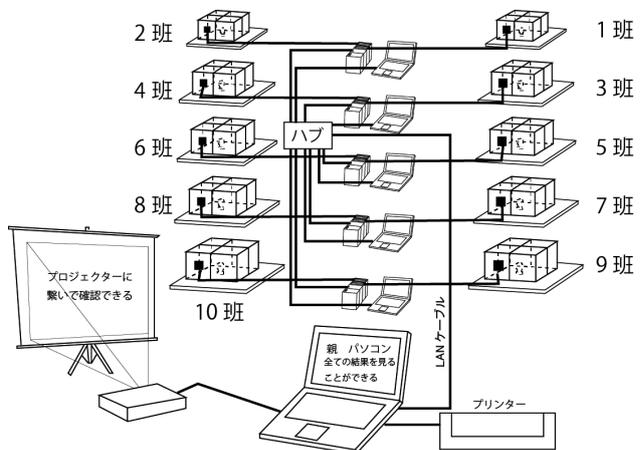


図1 ネットシステム接続全体図

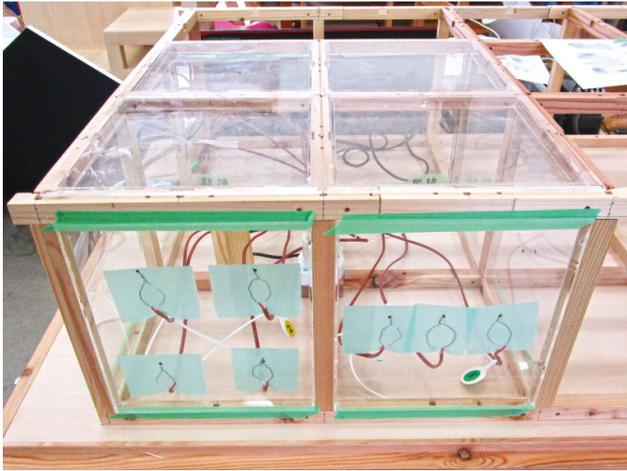
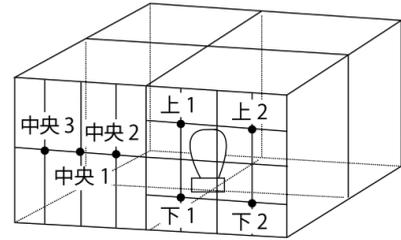


写真5 計測の様子 (壁7点)



●…熱電対の模型内の温度測定位置

図2 測定点の位置

4.2 検討内容及び考察

4.2.1 測定点の検討

模型の壁材8面を全て空気層とし、壁2面の内側表面温度の計測地点を上1、上2、下1、下2、中央1、中央2、中央3の7点とし、写真5と図2に示す。熱電対を取付け60分間計測した。

図2に示す中央1・中央2・中央3の3点の温度上昇の結果を表2と図3に示す。中央2と中央3の2点の平均値と中央1の値との温度差は、ファン停止時の開始(0分)時には0.2℃であったが60分後には差はなくなり上昇温度も0.2℃の差に留まった。

また、ファン稼働時には開始時も60分後も0.1℃の差に、上昇温度も0.2℃の差であった。これらのことから、中央1の表面温度は両側の壁材表面温度と0.2℃以内の差に収まることを確認した。同様に図2に示す上1、上2、下1、下2の4点の温度上昇の結果を表3と図4に示す。4点の平均表面温度はファン停止時に21.4℃上昇し、中央1の21.7℃になり、ファン稼働時の4点の平均値は24.6℃で中央1では24.7℃であった。

これらの結果から、ファン稼働時には、壁2面での温度差は0.1℃となること、及び暖房時の上下温度分布時においても壁材中央1の表面温度が壁全体の表面温度の代表値になることを確認した。

4.2.2 定常状態までの時間

壁8面空気層にて3時間計測した際の模型内外の温度変化を図5に示す。60分から180分の模型外温度が4.7℃上昇する緩やかな温度勾配となった。

一方、模型内外の温度差は概ね120分で定常状態となり180分後に約21.5℃差で安定した。60分後には19.1℃差となり約90%まで達成していた。

模型内の温度上昇が安定するのにほぼ60分かかることを明らかにした。

表2 壁3点計測とファン有無の温度上昇

3点計測温度(℃)	ファン停止				ファン稼働			
	中央2	中央3	2点平均	中央1	中央2	中央3	2点平均	中央1
0分	8.1	8.4	8.3	8.1	10.1	10.1	10.1	10.0
60分後	22.6	20.7	21.7	21.7	25.3	23.9	24.6	24.7
上昇温度	14.5	12.3	13.4	13.6	15.2	13.8	14.5	14.7

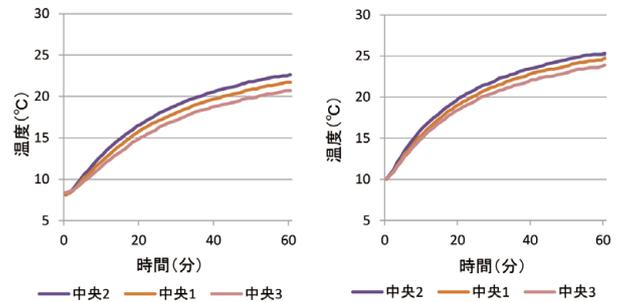


図3 壁3点の温度上昇(左図:ファン停止時、右図:ファン稼働時)

表3 壁5点計測とファン有無の上昇温度

4点計測温度(℃)	ファン停止					ファン稼働				
	上1	上2	下1	下2	4点平均:中央1	上1	上2	下1	下2	4点平均:中央1
0分	8.1	8.0	7.7	7.7	7.9: 8.1	10.2	10.2	9.9	10.0	10.1: 10.0
60分後	23.6	21.9	20.7	19.2	21.4: 21.7	24.9	23.4	25.7	24.4	24.6: 24.7
上昇温度	15.5	13.9	13.0	11.5	13.5: 13.6	14.7	13.2	15.8	14.4	14.5: 14.7

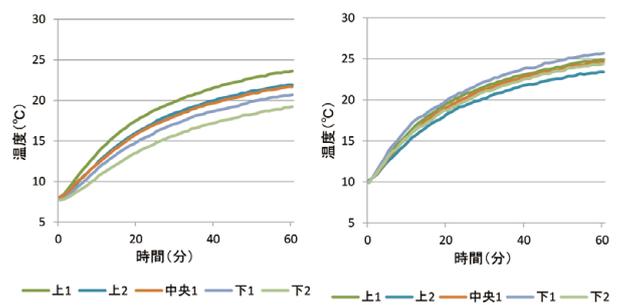


図4 壁5点の温度上昇(左図:ファン停止時、右図:ファン稼働時)

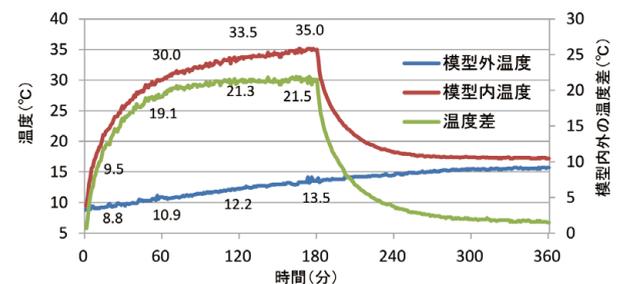


図5 模型内外の温度上昇

4.2.3 アクリルケースの有無における熱伝導率の比較

アクリルケースの有無による壁材そのものの熱伝導率の差を実験した。模型の壁8面のうち4面を空気層、2面をアクリルケースのある壁材[木(杉)](厚14mm)、2面をアクリルケースのない壁材[木(杉)](厚14mm)で構成した。

アクリルケースがある壁材とは、アクリルケースの中に壁材[木(杉)]を納めた状態を指す。

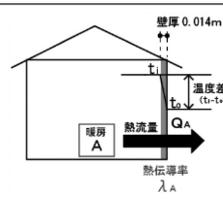
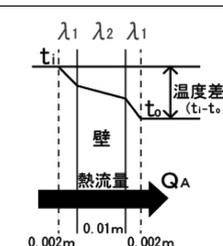
定常状態で実験するために保温電球の発熱時間を5時間とし、5時間後の熱流量(Q_A)と壁内外の温度差(t_i-t_o)から表4の式(1)と式(2)に当てはめて熱伝導率を算出し、表5にまとめ図6に示す。

アクリルケースがない壁材[木(杉)](厚14mm)そのものの熱伝導率λ_Aは表4の式(1)から0.076W/m・Kとなった。次にアクリルケースがある壁材の熱伝導率を表4の式(2)から計算する。式(2)の壁材の熱伝導率λ₂は式(1)で求めたλ_A値として入力し、アクリルの熱伝導率(λ₁)は0.133W/m・Kであることを算出した。アクリルケースがある壁材の見かけ上(一体)の熱伝導率は0.086W/m・Kとなる。よって、芯の材料(壁材)の熱伝導率がアクリルよりも小さい場合は、熱伝導率は高めに、大きい場合は低めに見かけ上の熱伝導率が計測されることを確認できた。

16種類の壁材そのものの熱伝導率を求めるために表4の式(1)から得られたアクリルの熱伝導率λ_A=0.133W/m・Kを式(2)に入力して各壁材の熱伝導率λ₂を算出し、表6にまとめた。16種類の壁材の熱伝導率λ₂の結果は同様の結果が得られた。

各壁材のアクリルケースの有無の熱伝導率の値と参考書に掲載されている熱伝導率の値を図7に示す。アクリルケースの有無による熱伝導率の差は0~0.388W/m・Kの範囲であることを明らかにした。

表4 アクリルケース有無の熱伝導率の計算式

<p>アクリルケースがない壁材の熱伝導率 (W/m・K)</p> $Q_A = \lambda_A \frac{(t_i - t_o)}{0.014} \dots(1)$ <p>Q_A: 熱流量 λ_A: 壁材の熱伝導率 t_i-t_o: 壁表面内外の温度差</p> 	
<p>アクリルケースがある壁材の熱伝導率 (W/m・K)</p> $Q_A = \frac{(t_i - t_o)}{\frac{0.002}{\lambda_1} + \frac{0.01}{\lambda_2} + \frac{0.002}{\lambda_1}} \dots(2)$ <p>Q_A: 壁流量 λ₁: アクリルケースの熱伝導率 λ₂: 壁材の熱伝導率 t_i-t_o: 壁表面内外の温度差</p> 	

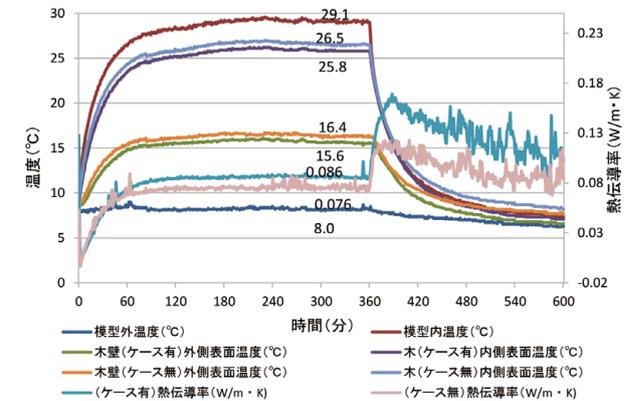


図6 アクリルケース有無の温度上昇と熱伝導率の比較

表5 アクリルケース有無の熱伝導率の比較

壁材の種類	熱流計		熱電対				式(1)		式(2)	
	5時間後の熱流量	感度	熱流量	模型内側壁材表面温度	模型外側壁材表面温度	模型内外の壁材表面温度差	1°Cあたりの熱移動量	一体の熱伝導率(厚み=0.014m)	アクリルの熱伝導率(厚み=0.002m+0.002m)	木(杉)の熱伝導率(厚み=0.01m)
	[mV]	[mV/W/m ²]	[W/m ²]	[°C]	[°C]	[K]	[W/m ² ・K]	[W/m・K]	[W/m・K]	[W/m・K]
アクリルケースがない壁材[木(杉)]	0.581	0.01063	54.7	26.5	16.4	10.1	5.412	0.076	0.133	0.076
アクリルケースがある壁材[木(杉)]	0.656	0.01043	62.9	25.8	15.6	10.2	6.166	0.086	λ ₁	λ ₂
			Q	t _i	t _o	t _i -t _o	W	λ _A		

表6 16種類の計測

番号	壁材の種類	熱流計		熱電対				アクリルケースがない壁材		アクリルケースがある壁材		アクリルケース有無の差	参考書	
		5時間後の熱流量	感度	熱流量	模型内側壁材表面温度	模型外側壁材表面温度	模型内外の壁材表面温度差	1°Cあたりの熱移動量	式(1)熱伝導率	式(2)熱伝導率	熱伝導率		比熱	
		[mV]	[mV/W/m ²]	[W/m ²]	[°C]	[°C]	[K]	[W/m ² ・K]	[W/m・K]	[W/m・K]	[W/m・K]	[W/m・K]	[kJ/kg・K]	
1	空気(静止)	0.584	0.01043	56.0	24.4	13	11.4	4.912	0.069	0.058	0.011	0.025	1.0	
2	グラスウール	0.414		39.7	30.4	15.7	14.7	2.700	0.038	0.029	0.008	0.036	0.84	
3	ポリスチレンフォーム	0.426		40.8	28.9	14.4	14.5	2.817	0.039	0.031	0.009	0.044	1.3	
4	もみ殻	0.542		52	27.3	15.3	12	4.33	0.061	0.050	0.011	0.04	-	
5	木の粉	0.513		49.2	32.2	19.9	12.3	3.999	0.056	0.045	0.011	0.05	-	
6	紙	0.507		48.6	30.1	17.1	13	3.739	0.052	0.042	0.010	0.06	1.3	
7	木(杉)	0.656		62.9	25.8	15.6	10.2	6.166	0.086	0.076	0.011	0.12	1.3	
8	ゴム	0.742		71.1	19.7	14.1	5.6	12.704	0.178	0.205	0.027	0.13	1.9	
9	石膏ボード	0.687		65.9	22.7	15.8	6.9	9.546	0.134	0.134	0.000	0.17	1.13	
10	アクリル	0.706		67.7	25.3	16.8	8.5	7.963	0.111	0.105	0.006	0.21	1.4	
11	ガラス	0.869		83.3	18.8	14.6	4.2	19.837	0.278	0.490	0.212	0.78	0.77	
12	コンクリート	0.805		77.2	21	15.9	5.1	15.134	0.212	0.277	0.065	1.4	0.88	
13	石(大理石)	0.759		72.8	28.7	24.2	4.5	16.171	0.226	0.314	0.088	2.8	0.81	
14	石(花崗岩)	0.778		73.2	21.9	17.3	4.6	15.911	0.223	0.304	0.082	4.3	1.1	
15	鉄	0.883		83.1	22.9	18.5	4.4	18.879	0.264	0.435	0.171	54	0.47	
16	アルミ	0.89		83.7	21.4	17.7	3.7	22.628	0.317	0.705	0.388	204	0.9	
			Q	t _i	t _o	t _i -t _o	W	λ _A	λ ₂			参考文献 注1)		

一方、参考書の値と算出値を比較すると、熱伝導率が低い壁材の差は小さく、熱伝導率が高い壁材の差は大きい。参考書の数値と実験で使っている材料とは同一ではないため当然数値は異なる。また、熱伝導率に影響する要素として空隙の大きさや空隙率が挙げられ、空気断熱性能が大きく影響していると考えられる。従って、今後参考値に近似するように改良していくが今回の断熱実験で講座において扱う熱伝導率は0.029～0.705W/m・Kの範囲で行うこととした。アルミとグラスウールの熱伝導率は約24倍程度異なる。

4.2.4 教育方法

鉄とグラスウールを隣接して設置し、壁内外表面温度の変化を写真6と図8に示す。同図から温度勾配の変化により壁材の違いによる内外温度差と模型内壁の表面温度の最大値の違いを確認できた。

従って講座では温度の経時変化を生徒自身に描いてもらうこととした。さらに、壁内の熱の伝わり方を生徒に理解してもらうために、壁内外表面の相違が表われ始める10分時と途中経過の30分時及び温度変化が安定する頃の60分時の壁における温度勾配図を描いてもらうこととした。

また、上記実験の経時変化をサーモカメラで撮影した熱画像を図9に示す。60分後の鉄表面の上昇温度が高く赤色と白色に表示され熱が逃げているが、グラスウールは黄色に表示され上昇温度が鉄ほど高くなっていないことが色の違いからわかる。

この違いを中学生に見せることも有意義であると考えた。

5. 事前実験結果と環境教育のまとめ

1/10組立模型を用いた壁材の断熱性能を調べる事前実験の結果を以下に示す。

- 1) 模型の暖房時の壁材中央1点の計測値は0.2℃程度の精度で壁全体の平均値として代表することを確認した。
- 2) 模型内の保温電球上部にファンを稼働することにより、いずれの壁材表面温度がほぼ近似した値であることを確認した。
- 3) 模型内が温度上昇し安定状態になる時間としてほぼ60分であることを確認した。
- 4) アクリルケース有無による16種類の壁材の熱伝導率の差が0～0.388W/m・Kの範囲であることを明らかにした。
- 5) 生徒の理解度の向上のために壁内外の表面温度と模型内外の空気温度の経時変化図と壁断面温度勾配図を生徒に描かせることや熱画像を活用することを環境教育の方針とした。

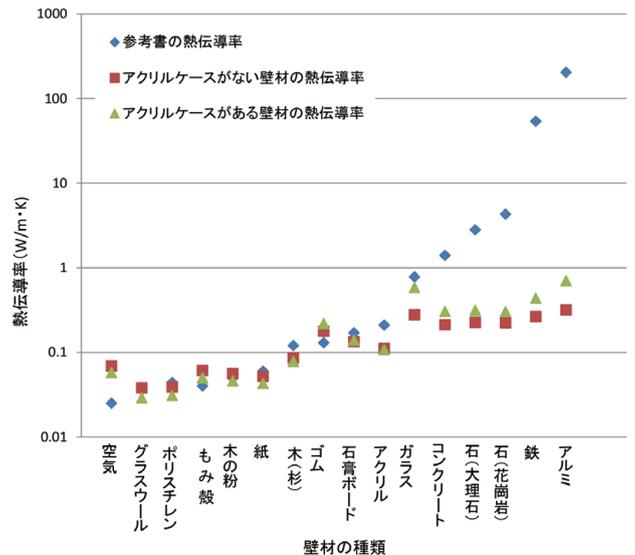


図7 各壁材の熱伝導率の比較

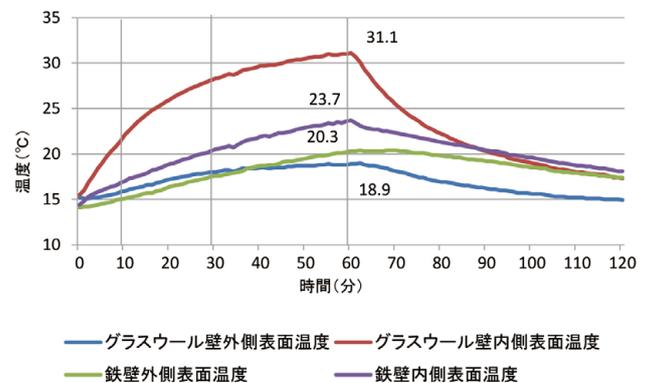


図8 鉄とグラスウール壁表面の温度上昇

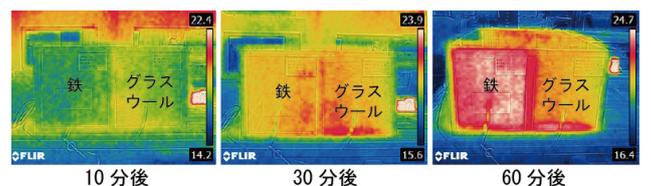


図9 鉄とグラスウールの熱画像で壁材表面温度の経時変化



写真6 計測の様子

6. 1/10 組立模型を活用した教育実践の概要と中高生の認識

6.1 建築講座の概要

2015年度は長岡市内の3つの中学校と新潟市内の工業高校の合計155人の生徒を対象に、伝熱の基礎事項と住宅壁面の断熱性能及び省エネ性に関する建築講座を行った。生徒の内訳を表7に示す。北中学校3年生1クラス35人、青葉台中学校2年生3クラス75人、山古志中学校1年生1クラス6人、及び工業高校建築科1年生1クラス39人であった。

中学生の場合、理科での伝熱に関する学習は3年生後期に行うため、受講した生徒は伝熱に関する知識はほとんどなく、高校生も入学後4ヶ月しか経っていないことから、中学3年時の伝熱授業は受けているものの住宅内の室温形成や壁の断熱性能について学んだ経験はほとんどない。

講座はクラス毎に行い、1班を2～4人で構成し、10班(山古志中の場合は3班のみ)に分かれて実験を行った。建築講座の概要を表8に示す。

本講座は、①断熱実験を行うための準備や伝熱に関する説明、②熱伝導率が異なる4種類の壁材の表面温度や模型内外の空気温度を計測して壁材の断熱性能を理解するための実験の実施と実験結果のグラフ化、及び③壁材の断熱性能と省エネ性に関する考察から構成される。講座の前後でアンケート調査を行った。講座前のアンケートの内容は伝熱関連事項や省エネの理解度について、講座後のアンケートでは講座の実験内容の理解度に関して回答してもらった。回収率は100%であった。

6.2 壁材と省エネに関する認識

講座前のアンケート調査結果を図11と図12に示す。図10に工業高校、山古志中学、北中学校、青葉台中学校の生徒が思っている住宅や学校などの壁材の種類の結果を示す。「コンクリート」と回答した生徒が95%で最も多く、次いで「木」が60%である。学校は鉄筋コンクリート造であることが多いことや大概の住宅の壁は木造であるためと考えられる。木造住宅が多いにも関わらず60%の生徒しか「木」と回答していないことから、内壁と外壁で覆われている大壁により壁内部の材料や構成がほとんど理解できていないことが伺える。また、鉄やガラスと回答した生徒はガルバリウム鋼板の外壁材や窓などを想定して回答していると考えられる。

次に、日常生活で暖かく住まうことにおいて省エネを意識している生徒(B中学校1～3組)は44%以上いる。生徒達が暖かく住まうためにどのような工夫があるのかを図11に示す。最も多い割合は「暖房の使用を最小限にする」で86%おり、次に「衣類での体温調節をする」と回答した生徒が73%である。これらの行動は生徒自身が簡単にできる内容である。「断熱材の使用」は6～14%で、「省エネを意識した家の構造」は0～14%で生徒が実践・工夫できる内容ではない。

以上の結果を踏まえると、省エネに大きく影響する住宅の断熱性能について理解しておくことは重要であり、かつ生徒にとって新たな学習の内容であると考えられる。

表7 教育実践の概要

学校名	学年	人数	学校名	学年	人数
新潟工業高校	1年	39人	長岡市立青葉台中学1組	2年	24人
長岡市立北中学	3年	35人	長岡市立青葉台中学2組	2年	26人
長岡市立山古志中学	1年	6人	長岡市立青葉台中学3組	2年	25人

表8 講座の概要

項目	講座内容
断熱実験の準備	①3種類の壁材の選定 ②熱電対と熱流計の設置 ③伝熱に関する説明
断熱実験	①保温電球を点灯 ②一定間隔で4種類(3種類+空気層)の壁材内外表面温度と模型内外空気温度(℃)及び熱流量(mV)のデータの記録 ③壁内外表面温度と模型内外の空気温度のグラフと温度の継続的変化のグラフ作成
省エネとの関連性	・工業高校、山古志中学、北中学 ①スライドにて「暖房時における壁面の断熱性能別みた室温変化」 ②スライドにて「室温形成(断熱・熱容量と室温変動)」 ・青葉台中学のみ ①実験結果を踏まえて4種類の壁材の断熱性能(高・中・低)についての考察 ②室温20℃を保つ際の住宅の断熱性能とストーブの大きさ(発熱量・エネルギー消費量)との関係の考察

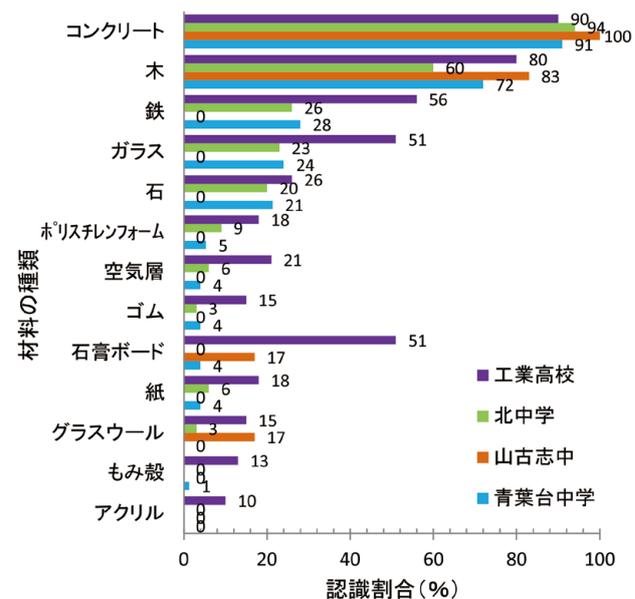


図10 中高生の壁材に対する認識(複数回答可)

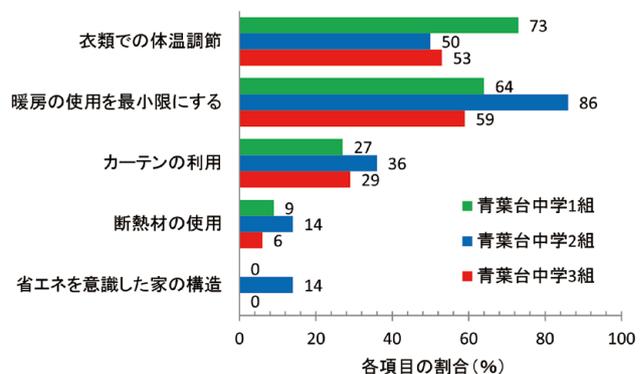


図11 中学生の省エネを意識して暖かく住まう工夫

7. 断熱実験の学習内容

7.1 壁材の選択傾向

実験の際に生徒達が選択した壁材の選択結果を表9に示す。工業高校、山古志中学、北中学及び青葉台中学校1組の講座では班毎相談して「好きな壁材」を選択してもらった。工業高校は「鉄」が5班と最も多く、次に「紙」「ガラス」「石(花崗岩)」が4班であった。北中学校は、「グラスウール」「紙」「石(大理石)」が4班であり、青葉台中学校1組は「ゴム」「石(大理石)」が5班と集中した。

比較的硬く重い「鉄」や「石」を選択する傾向が強い。特に「石(大理石)」は高級と捉え関心は高く最も多い16班が選択した。身近な「紙」や「ゴム」に興味を示す一方、実際に壁材として使われている「コンクリート」や「木」の選択は少ない。選択している時点では、壁材の認識や断熱への意識が薄いことが読み取れる。さらに、16種類を用意した10班中5班が近似した熱伝導率の壁材を選択し実験結果が偏り、様々な壁材の違いを観察しにくい結果となった。

この結果を踏まえて、青葉台中学2組と3組では各壁材を熱伝導率毎に3グループに分け、各グループから1つずつの壁材を選択し偏りの少ない実験結果を確認できるようにした。

事前実験の結果、Aグループの壁材の平均熱伝導率は0.042W/m・K、Bグループの平均熱伝導率は0.175W/m・K、Cグループの平均熱伝導率は、0.407W/m・Kであった。

7.2 実験のグラフ化と学習内容

青葉台中学校3組の1つの班が保温電球を点灯した後の10分・30分・60分経過した時点での空気層、木の粉、アクリル、コンクリートといった4種類の壁内外の表面温度と模型内外の空気温度を結んだ断面図を図12に示す。

熱伝導率の高い(断熱性能が低い)壁材ほど温度勾配が小さく、熱伝導率の低い壁材の勾配は大きい。これらの温度勾配図を描くこと(写真7)により、壁の断熱性能(熱伝導率)の違いを理解する上で役立ったと考えられる。次に、10分毎に計測した各壁内外の表面温度と模型内外の空気温度の経時変化の例(青葉台中学3組)を図13に示す。熱伝導率の低い空気層と木の粉の壁の場合、内側の表面温度は室内空気温度に近似して上昇するのに対して壁の外側の表面温度の上昇が小さいことから壁内外の表面温度差が大きくなる。

一方、熱伝導率の最も高いコンクリートの内外表面温度の変化を見る貫流熱量が大きいために内側表面温度が上昇せず内外温度差が小さい。内外温度差(温度勾配)と熱伝導率の関係していることを理解させる方法を整えた。同じ室温でも熱伝導率の違う壁材では室内側の壁温度が違う。このことは人間とその壁の放射を考えた場合、熱伝導率の高い壁はより寒く感ずるということになる。

表9 選択された壁材の数

グループ	番号	学校	学年			青葉台中学1組	青葉台中学2組	青葉台中学3組	合計
			1年	2年	3年				
A	1	空気(静止)	既に模型の壁材として選択している						
	2	グラスウール	1	1	4	2	3	0	11
	3	ポリスチレンフォーム	1	0	1	1	3	3	9
	4	もみ殻	1	2	1	2	1	2	9
	5	木の粉	1	0	0	4	1	2	8
	6	紙	4	1	4	1	2	3	15
B	7	木(杉)	1	0	1	2	3	1	8
	8	ゴム	2	0	3	5	2	3	15
	9	石膏ボード	1	0	0	2	2	2	7
	10	アクリル	0	0	0	0	1	2	3
	11	ガラス	4	1	1	1	2	2	11
C	12	コンクリート	1	1	2	1	1	3	9
	13	石(大理石)	3	1	4	5	2	1	16
	14	石(花崗岩)	4	1	3	3	2	2	15
	15	鉄	5	1	3	1	3	2	15
	16	アルミ	1	0	0	0	2	2	5

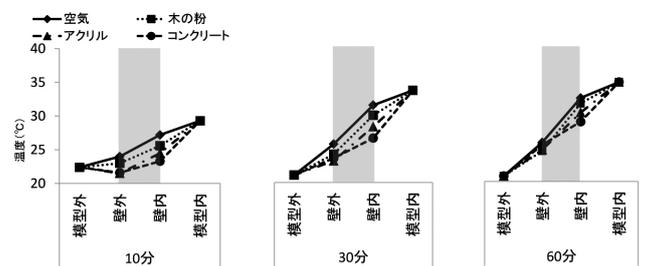


図12 壁材の種類別に応じた壁内外表面温度と空気温度の経時変化



写真7 グラフ作成の様子(青葉台中)

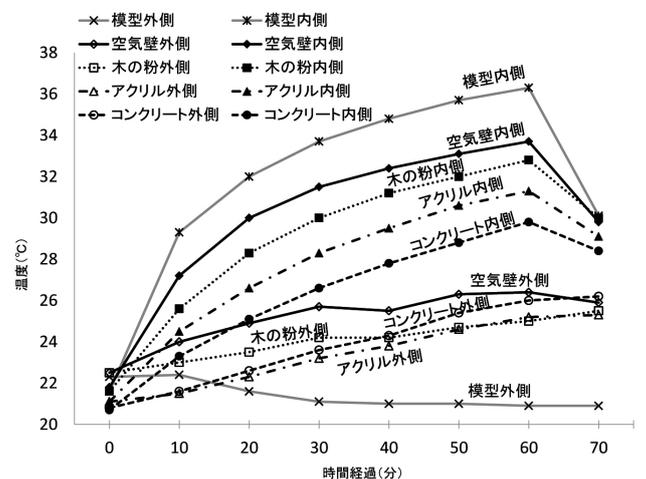


図13 各壁材の温度変化(青葉台中3組)

8. 断熱実験における理解度

8.1 伝熱・断熱と省エネに関する生徒の理解度

実験結果を踏まえて、4種類（選択した3種類と既に設置してある空気層）の壁材の断熱性能（高・中・低）別について考察するため図14に示す資料を提示し、更に室温20℃を保つ際の住宅の断熱性能とストーブの大きさ（発熱量・エネルギー消費量）との関係について考察する時間を設けた。

図15に伝熱と断熱の内容に関する各項目の理解度を学校やクラス毎に示す。なお、アンケートでは各学校で質問内容を変更したため、質問していない項目については棒グラフが無い。

伝熱に関する項目の理解度について見ると、「伝熱の方法」が44～95%と高い。壁材の熱伝導率の相違により室内から外に逃げる1℃あたりの熱貫流量（ $W/m^2 \cdot k \cdot \text{熱伝導率} / \text{厚さ}$ ）が異なることを生徒自身がグラフ化して理解したことによると考えられる。「周辺環境との熱交換」の理解度は17～39%とかなり低い。伝熱の方法（対流・放射・伝導）について学習したが、実験からはこれらの方法による熱の授受の実感が持てなかったためと考えられる。従って、実感を持てるよう実験方法の改善が課題と言える。

一方、断熱に関する理解度が2項目「壁材の種類と断熱性能」と「断熱することの意味」の理解度が最も高い。理解度が高かった理由として実験を通して熱伝導率の異なる壁材の断熱性能の違いを理解できたことによると考えられる。しかし、その他の項目の理解度はほぼ40%以下で低い。どの学校においても「実験と自宅との関連性」が36%以下で最も低い。中高生の場合、自宅の壁の断熱性能の実態がわからないために関連性を考えられなかったと推定される。

図16は講座前後のアンケートで尋ねた断熱の意味の正答率を示す。講座前の正答率が55～70%であったのに対して、講座後には64～74%とやや上昇した。クラス別に講座前後の正答率の変化を見ると、1組ではほとんど相違ないが、3組は講座後大幅に上昇した。

図17は青葉台中学校1～3組が図14のシートで回答した結果に基づいて算出した。断熱性能の正答率は、図14の上部に示す熱伝導率の異なるグループ毎の断熱性能の順位の正答の割合を表す。省エネの正答率は、図14の下部に示す各々の断熱性能の住宅に設置するストーブの大きさ（エネルギー消費量と比例すると想定）との関係における正答の割合を示す。断熱性能の正答率はいずれのクラスも78%以上であるのに対して、省エネの正答率は高いクラスで65%である。これは壁材の表面温度などの相違を実験で測りグラフ化して認識したことにより断熱性能は理解できたが、断熱性能とエネルギー消費量との関係をしっかり理解できなかったことにより省エネについての理解が十分にできなかったと考えられる。

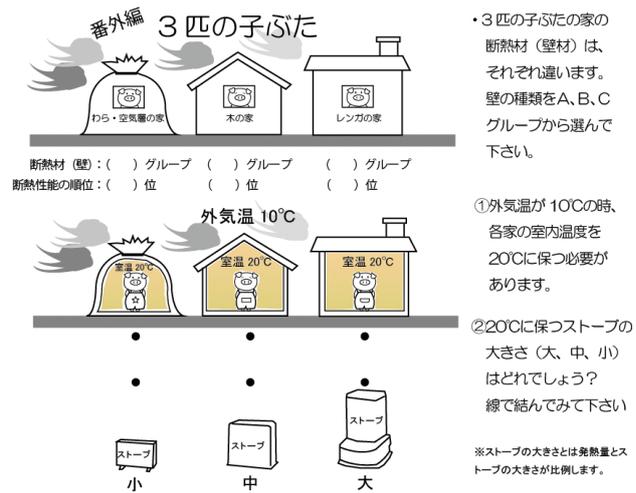


図14 断熱性能と省エネの問い

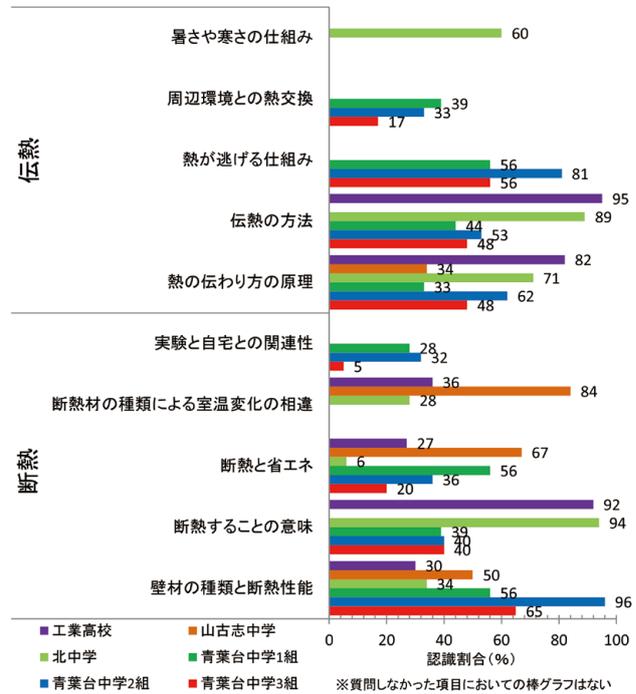


図15 伝熱と断熱の内容に関する理解度（複数回答可）

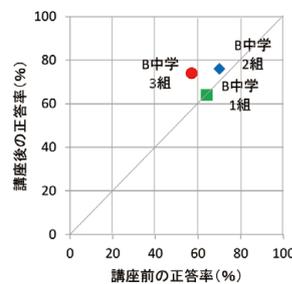


図16 講座前後の断熱に関する正答率

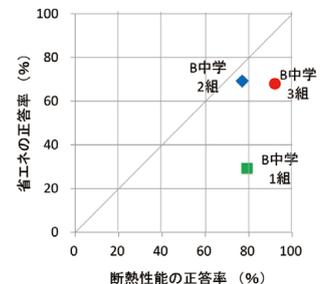


図17 断熱性能、省エネの正答率

8.2 講座内容の理解度に繋がる要因

図18は建築講座に関して印象に残った内容を青葉台中学校2組を例に示す。「グラフ作成」と「サーモカメラの観察」が73%と最も高く、「温度計測」が58%、「熱電対や壁の取り付け」が54%であった。いずれの項目も生徒にとって初めてであり、実験準備や計測といった作業中心の後者の項目より、伝熱や断熱の意味を理解するための手段である前者の項目の割合が高い。図19に示す1/10組立模型を用いた断熱実験において、伝熱や断熱に関して理解しやすかったという割合はいずれのクラスも92%以上であった。その理由の内容を図20に示す。なお、各学校で質問内容を変更したため、質問をしていない項目の棒グラフは無い。最も理解しやすい理由として、「部屋がイメージしやすい」を工業高校と青葉台中学校が68%前後の割合で挙げており、青葉台中学校では「縮尺1/10スケール」も58%の割合で指摘している。模型を用いることで柱や梁と壁材の構成と8畳間全体を観察できたことにより理解が深まったと考えられる。

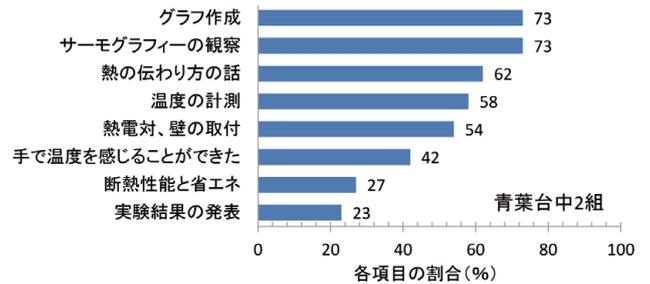


図18 印象に残った内容 (複数回答可)

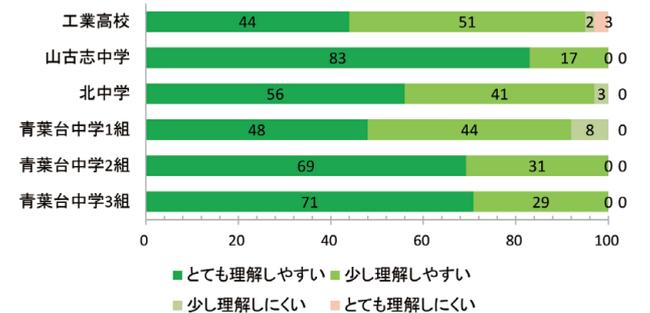


図19 1/10組立模型の理解のしやすさの有無

9. 環境教育実践のまとめ

1/10組立模型を用いた環境教育では中高生を対象とした伝熱・断熱に関する講義や実験を行い、実験内容の理解度を確認した。得られた知見を以下に示す。

- 1) 講座前の中高生の壁材に関する知識は「コンクリート」が95%、「木」が60%であった。木造住宅は大壁で覆われていることにより壁内部の材料や構成がほとんど理解できていないことが伺える。
- 2) 熱伝導率の異なる4つの壁材の各々の表面温度と模型内外の空気温度の経時変化をグラフ化したことにより、熱伝導率の異なる壁中の貫流熱量や温度上昇の相違を理解できた。
- 3) グラフの作成やサーモカメラを使用した熱画像の観察により理解度の向上への有効性を確認できた。
- 4) 1/10組立模型を用いて建物の壁材や模型全体を観察することにより、伝熱・断熱の理解が深まることを検証した。
- 5) 断熱実験を踏まえた省エネの認識を高める方法を更に改善する必要があることがわかった。

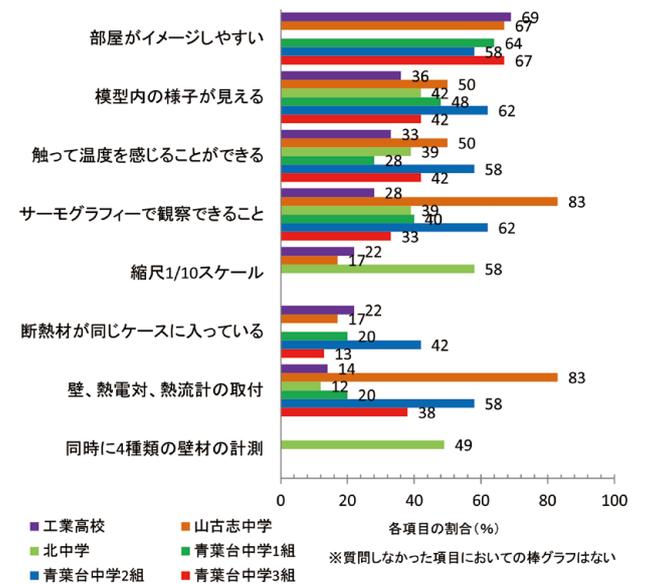


図20 1/10組立模型が理解しやすい理由 (複数回答可)



写真8 サーモグラフィーの熱画像で模型内を確認 (青葉台中)



写真9 熱電対の先端に触れて体温を確認 (山古志中)

本年の経験をもとに、環境教育の新たな方法を探り引き続き研究を行う。

謝辞

平成 27 年度、建築講座は多くの方の協力を得て無事、終了することができました。新潟県立新潟工業高等学校、新潟県立長岡農業高等学校の学生さん達や長岡市立山古志中学校、長岡市立北中学校、長岡市立青葉台中学校の生徒さん達や三条市わくわく科学フェスティバルの参加した小学生の皆さんとは、1/10 組立模型を通じて大変有意義な時間を共有することが出来ました。

各校の校長先生はじめ、引率教員、担当の方々のご理解、ご協力に感謝しております。

建築講座実施にあたり新潟大学の飯野教授と飯野研究室 4 年生の中田早香さん、佐藤美佳さんはじめ飯野研究室の 4 年生の皆さん、そして長岡造形大学後藤研究室の平成 26 年の 4 年生の関川遼太郎さん、平成 27 年の 4 年生の間公美さん、羽深歩波さん、3 年生の中村美雪さん、東優介さん、岡村海斗さん、森研究室の 4 年生の遠藤綺乃さんの協力なくして本講座を円滑な進行はできませんでした。

ここに御礼申し上げます。

注釈

- 1 長岡造形大学 研究員
- 2 新潟大学 人文社会・教育科学系 教授（長岡造形大学 非常勤講師）
- 3 2016 年度 日本建築学会北陸支部に提出した研究論文 2 報である。
広川智子、後藤哲男、飯野由香利：1/10 組立模型の壁材の断熱実験の開発と環境教育の検討－基礎教養における初期建築教育の方法に関する研究その 3－
後藤哲男、広川智子、飯野由香利：1/10 組立模型を用いた中高生を対象とした環境教育の実践－基礎教養における初期建築教育の方法に関する研究その 4－
- 4 経済産業省資源エネルギー庁公式ホームページ 平成 24 年度 エネルギーに関する年次報告（エネルギー白書 2013）：<http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2013html/2-1-2.html> 2016-3-9 閲覧

注 1) 以下の文献から熱伝導率と比熱の値を参照した。

- ・小林茂雄、中島裕輔、西村直也、古屋浩、吉永美香：はじめての建築環境工学、p.40、彰国社
- ・中園真人、他 3 名：珞殻充填木板パネルの断熱性能実験、<http://memoirs.lib-e.yamaguchi-u.ac.jp/521/12.pdf> 2016-1-29 閲覧
- ・SENSBEY：各種物質の熱的性質 www.sensbey.co.jp/pdf/materialpropety.pdf、2016-1-29 閲覧
- ・八光電機：各種物質の性質・非金属個体の性質、<http://www.hakko.co.jp/qa/qakit/html/h01010.htm>、2016-1-29 閲覧



写真 10 伝導体感(握手して実感) (青葉台中)



写真 11 パソコン画面の温度を確認 (北中)



写真 12 温度と熱流を記録している様子 (青葉台中)



写真 13 プロジェクターで温度上昇を確認 (北中)