

# 傾斜屋根における天井断熱・屋根断熱モデルの冬期温度特性について

## 積雪寒冷地の断熱気密化住宅における小屋裏換気手法に関する研究 (その1)

### EXPERIMENTAL STUDY ON TEMPERATURE VARIATIONS IN THE ATTIC SPACE OF CEILING INSULATION MODEL AND IN THE VENTILATED AIR SPACE OF ROOF INSULATION MODEL IN INCLINED ROOF DURING WINTER

Ventilation method in attic space of insulated and airtight house  
to prevent snowmelting in cold region Part 1

鈴木大隆\*, 廣田誠一\*\*, 本間義規\*\*, 鎌田紀彦\*\*\*

*Hirotaka SUZUKI, Tomohito HIROTA, Yoshinori HONMA and Norihiko KAMATA*

Temperature variations of full-size ceiling insulation model and roof insulation model are measured and observed to prevent melting and freezing of snow on the roof during winter. As a result, roof insulation model with ventilated air space is quite effective to prevent the problem caused by snowmelting on the roof since the temperature inside the ventilated air space follow the outside temperature well. On the other hand, ceiling insulation model leaves much room for improvement on ventilation method in attic space because of the bad followrity of temperature inside the attic space.

**Keywords** : ceiling-insulation, attic space, roof-insulation, air space, temperature,

天井断熱, 小屋裏空間, 屋根断熱, 通気層, 温度,

#### 1. はじめに

積雪寒冷地住宅の屋根は、周辺環境・敷地規模や住宅デザインを考慮しながら、屋根面の雪処理をどうするか、すなわち「滑雪・載雪・融雪<sup>1)</sup>」のうちどの方式を選択するかを明確にした上で、その工法を決定しデザインしていくことが重要である。このうち、融雪方式については、環境保全に向けた省エネルギー化が求められている昨今、自然エネルギーや廃熱の有効利用等による新技術を前提としない限り、この方式を一般住宅への普及とすべきでは無いだろう。そして住宅屋根の雪処理は、一般に行われているような防雪柵や雪下ろし等の自発的な対応に依存することなく、滑雪・載雪方式を前提とした建築的対応によって実現していくことが望まれる。

しかし、冬期間において、これらの方式が現実抱えている問題点も少なくない。例えば、滑雪方式では軒先部のつらら・氷堤の発生や屋根材への雪の凍着による落雪障害やすがもりなどの発生、載雪方式では雪の保温効果で容易に融雪が生じることによる巻垂れなどの発生が

挙げられる。従って、滑雪・融雪方式を採用する場合には、障害が発生する期間における屋根面積雪の融雪・凍着防止のため、天井面での断熱・防湿気密を適切に行った上で、小屋裏温度をできるだけ外気温に近似させるよう積極的な小屋裏換気措置を講ずることが重要である<sup>2)</sup>。

近年の天井面での断熱・防湿気密性向上により、小屋裏内への水蒸気流入量が減少するため、防露に必要な小屋裏換気量は少なくて済む傾向にある。従って、冬期の小屋裏換気は防露性よりむしろ雪処理の面から求められることとなる。一方、夏期間においても、最上階居室の温度環境を良好にするため、小屋裏を通風冷却するための小屋裏換気など、冬期間と同様の配慮が望まれる。

これまで、小屋裏換気に関しては、温暖地の気候条件下で松本ら<sup>2) 3)</sup>、宮田ら<sup>4) 5)</sup>が冬期の防露性や夏期の排熱、赤坂ら<sup>6)</sup>、須貝ら<sup>7)</sup>、赤林ら<sup>8)</sup>が夏期の排熱に着目した研究を報告している。しかし、屋根雪障害など積雪寒冷地特有の問題の防止に対し、断熱部位との係わりの

\* 北海道立寒地住宅都市研究所 工修

Hokkaido Prefectural Cold Region Housing and Urban Research Institute, M. Eng.

\*\* 北海道立寒地住宅都市研究所

Hokkaido Prefectural Cold Region Housing and Urban Research Institute

\*\*\* 室蘭工業大学建設システム工学科 助教授・工博

Muroran Institute of Technology, Dr. Eng.

中で、その設計資料となるような研究はほとんど行われていないのが現状である。

本研究は、近年、北海道・東北地方で新築されているような断熱・防湿気密性に優れた住宅で、かつ防水面で長期的な信頼性が高い勾配屋根を前提とし、天井断熱のみならず屋根断熱した場合も含めて、冬期の融雪・凍着防止、夏期の排熱を目的とした小屋裏換気手法について、その構法的要件を明らかにすることを主な目的とする。このうち、本論文(その1)では、北海道の天井断熱・屋根断熱の住宅で最も一般的に行われている換気手法<sup>註2)</sup>を実物大モデル化し、その冬期温度測定などから屋根面積雪時における小屋裏・通気層内温度性状を把握したものである。

## 2. 実測の概要

### 2.1 実験建物及び実験モデル概要

北海道立寒地住宅都市研究所の敷地内(札幌市西区24軒4-1)に建つ木造2階建5寸屋根勾配(勾配角度26.6°)の実験建物において、天井断熱部位は換気手法の異なる4タイプ(1モデル寸法:幅455mm×長さ4.550mm)、屋根断熱部位は通気層厚・換気手法の異なる7タイプ(1モ

デル寸法:幅728mm×片面長さ2.544mmで南北面)の実物大モデルを設置した。実験建物の概要を図1、実験モデルの概要を図2・表1に示す。

各モデルの小屋裏空間・通気層や断熱層が、隣接モデルの熱的影響を受けないように、また各モデルの換気経路が独立するように、各モデルの境界部は下記の仕様によった。天井断熱モデルの境界部は、小屋裏内部に押出法ポリスチレンフォーム3種50mm厚を施工し、漏気防止のため継目を気密テープでシールした。屋根断熱モデルの境界部は、屋根たる木(212"材:38mm×286mm@455mm)を設置し、漏気防止のためたる木四周をシーリング施工した。天井断熱と屋根断熱モデルの境界壁は、天井断熱の境界部と同様の納まりとした。また、軒天井内部はモデル間の相互通気が生じないように、屋根たる木で仕切られている。

なお、野地板合板及び板金材は、モデル間の熱的絶縁は考えずに連続して施工している。隣接モデルの小屋裏・通気層温度に極端な差異がある場合は、板金材が熱橋となり、屋根面の融雪障害の発生状況に若干の影響を及ぼすことが考えられる。しかし、本論文内の比較指標である屋根面積雪時の小屋裏・通気層内温度に対しては、熱

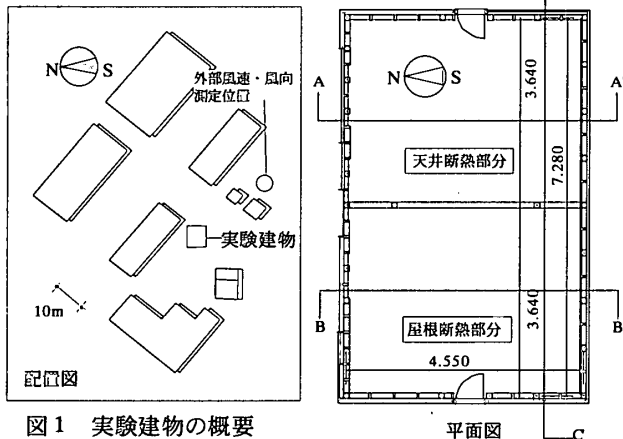


図1 実験建物の概要

表1 実験モデルの概要

断熱部位	断熱仕様	モデルNo.	換気方式		通気層の厚さ(mm)
			棟換気併用 <sup>B1)</sup>	軒天換気のみ <sup>B2)</sup>	
天井断熱	GW'ロ-イ'ク' 250mm	C1		○	-
		C2	○		-
		C3	△ <sup>B3)</sup>		-
		C4		△	-
屋根断熱	高性能GW(16K) 200mm	R1	○		18
		R2	○		30
		R3	○		45
		R4	○		90
	高密度GW(80K) 15mm	R5		○	18
		R6		○	45
		R7		○	90

※1 市販の換気部材を使用 椽頂部の換気スリットは幅20mm  
 ※2 軒天井に314cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>(孔径5mm, 1m<sup>2</sup>当たり1600個)の有孔ボードを使用  
 ※3 軒天井の換気面積を※2の2/3に減少した有孔ボードを使用

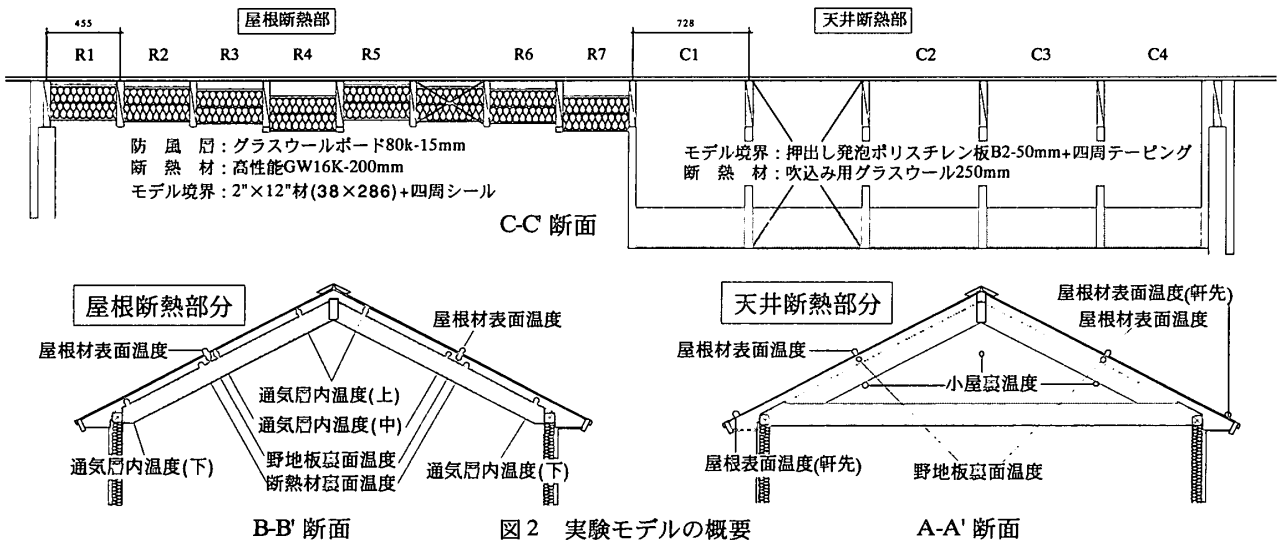


図2 実験モデルの概要

橋の影響はほとんど無視し得るものと考えられる<sup>註3)</sup>。

実験に使用した材料・仕様の概要を下記に示す。  
屋根葺きは、北海道で一般的な、野地板合板12mm厚にアスファルトルーフィング22kgを下地として、着色亜鉛鉄板0.32mm厚を横葺きとした。軒天換気部材は、換気面積<sup>註4)</sup> 314 [cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>] を有する市販軒天有孔板と、テープ貼りによって換気面積<sup>註4)</sup> を約2/3まで減少した(210 [cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>]) 有孔板の2タイプを使用した(以下:2/3モデルと称す)。棟換気部材は、屋根頂部に換気面積<sup>註4)</sup> 200 [cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>] の市販専用部材を使用した。

断熱仕様は、新省エネルギー基準<sup>9)</sup>を満たすものとし、天井には吹込み用グラスウール(以下:GWと称す)250mm厚、屋根には防風層に高密度GWボード15mm厚を用い、その室内側に高性能GW16K-200mm厚を充填した。各モデルの断熱材室内側には防湿気密のため、ポリエチレンフィルム0.2mm厚を気密に施工した。また、外壁断熱層から天井断熱層・小屋裏、屋根断熱層へ漏気による熱移動が生じないように、軒桁材が通気止め材となるように設計施工した。

2.2 実験条件と測定概要

'93年10月~'95年5月の間で計測したうち、本論文で対象とする冬期間は'94年12月~'95年4月までの約5ヶ月間である。この期間は実験建物内部を温度22±2℃・湿度40±10%に維持した。暖房は電気ヒータを用いて22℃設定のサーモによるON-OFF制御による。湿度制御はポリタンクからフロースイッチで加熱皿に送水した水分を、前述した湿度が保てるようにスライダックで発熱調整した電気ヒータで蒸発させる方法による。

各実験モデルの温度はT(CC)型熱電対を用い、室内・外部・小屋裏や通気層内部等の各空気温や各種表面温な

ど計113点を1時間毎に測定した。

水平面日射量は1時間毎の積算値、外部風向・風速は10分間毎の平均値を測定した。これらは、実験建物より約25m離れた地盤面高さ10mの位置で計測している<sup>註5)</sup>。また、測定期間中における各モデル南北屋根面の積雪状態を把握するため、南北屋根面の上中下部3点で1日に1回積雪深さを計測し、また北側屋根面は終日VTRによる観察を行った。

天井・屋根断熱モデルの代表的な測定点位置及び外部環境データの測定点位置を図1、図2中に示す。

3. 測定結果

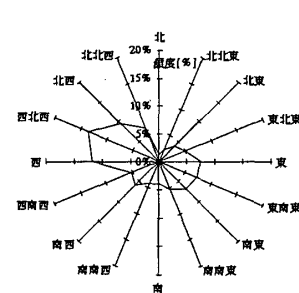
3.1 冬期測定期間中の外部環境と屋根面積雪状況

冬期測定期間中('95年1月中旬~3月下旬)の外部温度・水平面日射量・外部風速、風向発生頻度分布、屋根面積雪深及び札幌市の積雪の深さを図3(a),(b)に示す。測定中、外部風速が1.0[m/sec]未満の静穏な状態は少なく(約30%の頻度)、季節風の影響で北西ないし西を主方向とする風が吹くことが多い。

屋根面積雪深は各方位3点で計測したうち、それぞれ中央部の計測値を平均的な代表例として示した。屋根頂部は外部風によって雪が吹き飛ぶため、中央部より積雪深はかなり少なく、棟換気口は、多量に降雪があった一時期を除いて、換気に支障の無い状態であった(VTR観察による棟換気開放期間を図3(b)中に示す)。

3.2 屋根面積雪期間と融雪障害の状況

冬期測定期間中のうち、多少にかかわらず屋根全面に積雪があった期間は、南側が累計526時間、北側が累計618時間である。'94年12月中及び'95年3月中旬以降は数回のまとまった降雪があったが、屋根面の積雪は当



注: 図は測定期間の風向を外部風速1.0m/s以上を対象とし全方位に対する割合で示した。1.0m/s未満の発生頻度は全体の30%程度である。

図3(a) 風向発生頻度

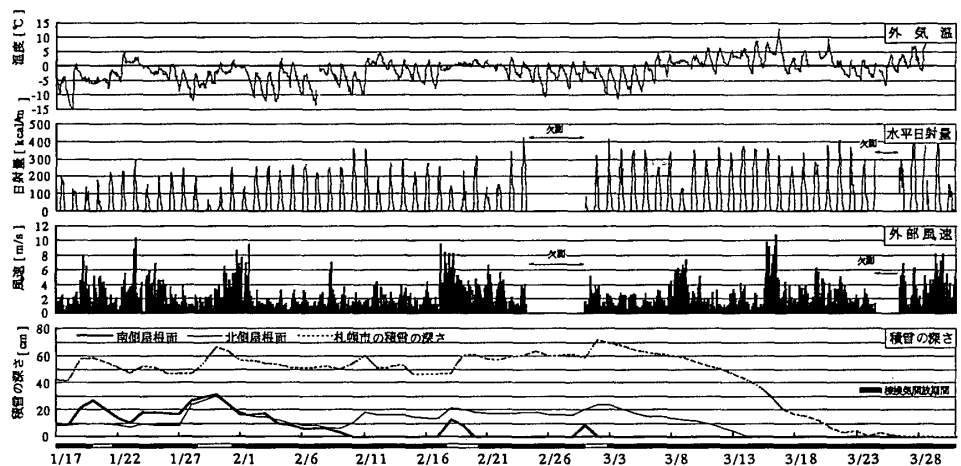


図3(b) 1995/1/7から1995/3/31までの外気温・水平日射量・外部風速・積雪の深さ

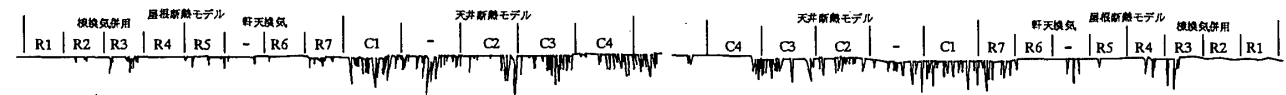


図4(a) 1月中旬の南側軒先部観察状況

図4(b) 2月中旬の北側軒先部観察状況

(図は写真を基に軒先下の氷柱発生状況をトレースしたもの)

日または翌日以降の晴天日で外気温が0℃以上となる日に殆どが融雪してしまい、本論で問題とするような融雪障害は見られなかったため、上記時間から除外した。

1月及び2月中の、典型的な各モデル軒先部分の障害発生状況を図4(a),(b)に示す。屋根面積雪期間中、屋根断熱モデルでは、図4(b)中のR7モデル<sup>註6)</sup>を除き問題となるような融雪障害は発生しなかった。一方、天井断熱の全モデルでは、'95年1月中旬から下旬までは南側屋根面で、1月下旬から3月中旬までは北側屋根面でも障害が発生した。

日射や外部温度等の外部環境が同一条件下で、外部から屋根載雪面への供給熱量に相違がないにも関わらず、天井と屋根断熱の障害発生状況に明らかな差異が生じたのは、断熱・換気手法の違いにより、小屋裏温度と通気層温度性状に差異が生じ、内側から載雪面への供給熱量の違いが融雪障害の有無に現れたものと推測される。小屋裏・通気層内温度性状にどの程度の差異があるかについては、3.3にて詳しく検討する。

また、1月下旬以降に天井断熱モデルの北側屋根面でも障害が生じたのは、内側からの融雪熱量が多いのに加えて、水平面日射量や太陽高度の変化に伴う北側屋根面の日射受熱量の増加により、外側からの供給熱量が増し、融雪を促進したためと推測される。

なお、これらの融雪障害は、屋根載雪面の日射受熱量が多い晴天日日中で、外気温が0℃以下となる条件下で

顕著に見られたのが特徴的である。

### 3.3 屋根面積雪期間におけるモデル別温度特性

#### (1) 各層の温度特性

屋根材表面・野地板裏面・小屋裏温度について、融雪障害が発生した天井断熱モデルの例としてC1・C3モデル、障害が発生しなかった屋根断熱モデルの例として(45mm通気層)R3・R7モデルの1月27日から1週間分のデータと外気温の相関を図5(a),(b),(c)に示す。

図示した温度のうち、障害の有無で最も顕著な差が見られるのは小屋裏・通気層内温度である。障害の発生した天井断熱の小屋裏温度と比べて、屋根断熱の通気層は外気温との追従性が良好で、外気温が0℃以下の場合に通気層温度がプラスとなる頻度は極めて少ないのが特徴的である。一方、野地板裏面温度や載雪面温度を示している屋根表面温度はわずかな差異しか見られない。

これは、雪の熱伝導率・光線透過率が比較的低い<sup>註7)</sup>ため、屋根面積雪時における載雪面の融雪に対しては、積雪上面からの外気温や日射などの外的要因が及ぼす影響は少なく、小屋裏・通気層からの供給熱量が支配的になることを示しているといえよう。また、載雪面では、外部の影響が少ないことに加えて、融雪が起きている場合には、雪の融点以上には温度上昇しないため、屋根表面温度・野地板裏面温度に差異ができていくなっていることを示しているといえよう。

以上のことから、屋根面積雪時の融雪障害を防止する

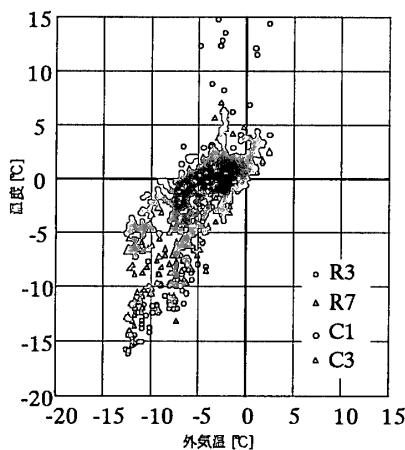


図5(a) 小屋裏・通気層温度

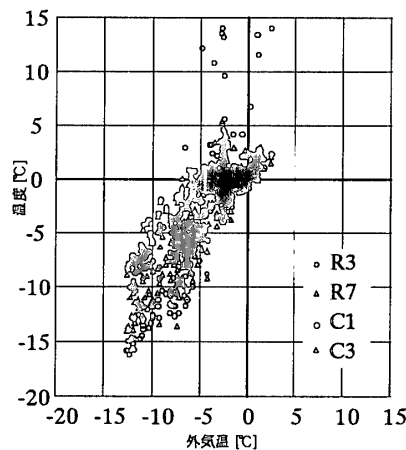


図5(b) 野地板裏面温度

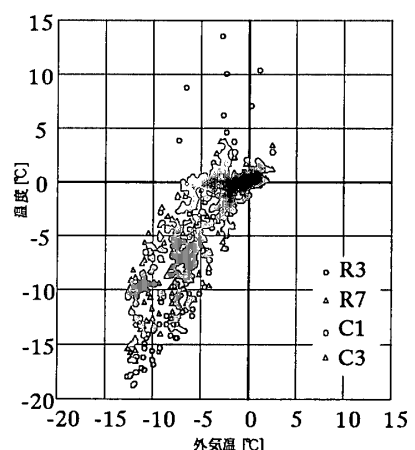


図5(c) 屋根表面温度

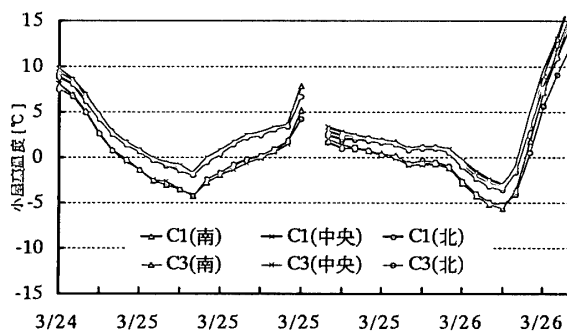


図6(a) 小屋裏内温度分布

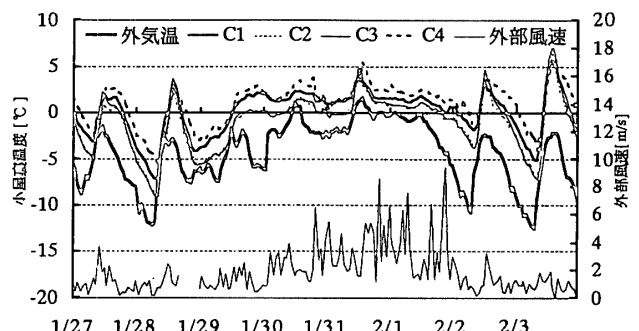


図6(b) 各モデルの小屋裏温度変化

には、小屋裏や通気層内が外気温と良好に追従し、かつ障害が発生する外気条件下で融雪を促進しない、すなわち、外気温が0℃以下の場合に小屋裏や通気層温度をマイナスに保つような換気措置を講ずることが重要であることがわかる。

(2) 小屋裏空間及び通気層内温度について

屋根面積雪時の小屋裏・通気層内温度の典型的変動に関して、融雪障害が顕著に見られるようになった1月下旬から1週間分のデータを抽出しその傾向について述べることにする。また、屋根面積雪期間中の温度特性に関して、3.2に示した積雪時間の計測値を外気温の昇順を並び替えた結果から、その傾向を述べることにする。

①天井断熱モデルについて

天井断熱モデルの小屋裏内温度は、南北軒先付近と中央部の3ヶ所で計測している。典型例として、図6(a)に換気面積の異なる2モデルの各点温度変動を示す。この図から、換気方式の違いによらず小屋裏空間内部はかなり均一な温度性状となっており、いずれか1点の計測値に着目することでモデル比較が可能であることがわかる。

よって、以下では天井断熱4モデルの小屋裏中央部温度に着目し、週間温度変動を図6(b)、屋根面積雪期間中の温度特性を図6(c)に示し、モデル比較を行う。

(a) 軒天換気のみモデル

図6(b)、(c)から、2/3モデル(C4)の小屋裏温度は市販有孔板のモデル(C1)に比べて2℃程度高く変動していることがわかる。これは、2/3モードの軒天換気面積が小さく、小屋裏換気量が少ないことに起因するもので

あろう。図6(c)から、各モデルの小屋裏温度は外気温との追従性が悪く、外気温が-5.0℃よりかなり低くならないと小屋裏温度がマイナスにならないことがわかる。このような温度特性が、屋根面積雪時の融雪障害を引き起こす原因であると考えられる。

(b) 棟換気併用モデル

図6(b)、(c)から、棟換気を併用したモデル(C2)は、軒天換気のみモデル(C1)と比べて外気温との追従性が若干良好になること、またC2とC3の比較から軒天換気面積の違いによる影響が余りないことがわかる。

図6(c)から、外気温が-5℃程度以下になれば小屋裏温度が概ねマイナスに保たれることがわかる。

以上の測定結果は、棟換気併用による小屋裏換気の促進効果を示しているといえよう。しかし、棟換気を併用しても外気温との追従性は悪く、設定モデルでは小屋裏換気量が不足していると思われる。従って、今後は換気量を増大する方向での検討が必要であらう。

②屋根断熱モデルについて

屋根断熱モデルの通気層内温度は、南北面上中下部の6点で計測している。典型例として、図7(a)、(b)に通気層厚45mmで換気方式の異なる2モデルに着目して、2月1日から3日間の外気温との相関を示す。

北側では軒天換気モデル(R6)と棟換気併用モデル(R3)の通気層温度には差異が殆ど無く、外気温との追従性が比較的良好であるのに対し、南側ではR6と比べてR3は外気温が-5℃以上及び-10℃以下でのばらつきが大きい。このような傾向は、他の通気層モデルでも

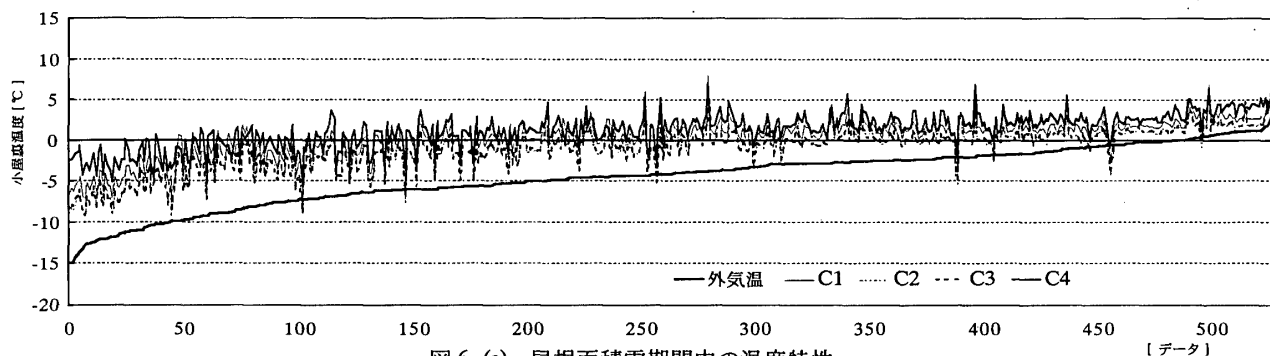


図6(c) 屋根面積雪期間中の温度特性

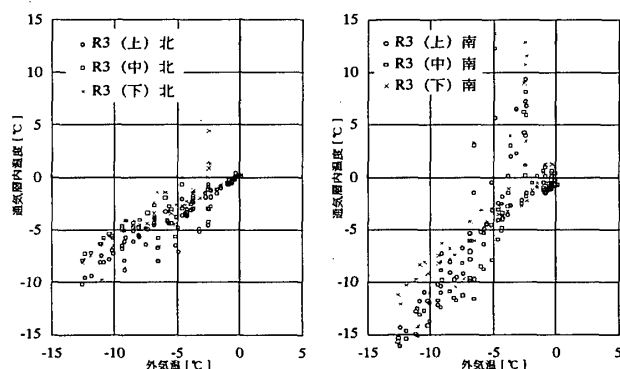


図7(a) 通気層内上中下部の温度変化

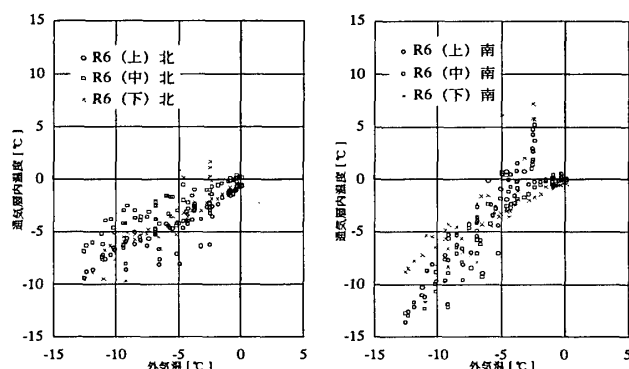


図7(b) 通気層内上中下部の温度変化

概ね同様である。

前述した温度変動の差異は、換気方式の違いに起因するものと考えられよう。すなわち、軒天換気モデルは、南北面とも同量の通気があるため、通気層温度は外気温に比較的良好に追従するのに対し、棟換気を併用したモデルは、棟からの排気によって南北面の通気量に差異が生じ、期間中風下側となることが多い南側通気層の通気量減少に伴って、通気による熱移動量が少なくなり、日射や放射冷却等の外部要因による温度変動が大きくなったものと推測される。小屋裏・通気層の換気特性と実測結果で示されたような温度性状とのかかわりについては、今後、理論解析による検討を行う予定である。

いずれにしても、換気方式に違いがある屋根断熱モデルの通気層温度は、南北面に分けて比較検討する必要がある。以下では南・北側通気層毎に、最も平均的な温度を示す中央部の計測値に着目し、週間温度変動を軒天換

気モデルは図7(c)、棟換気併用モデルは図7(d)、屋根面積積雪期間中の温度特性をそれぞれ図7(e)、(f)、(g)、(h)に示し、モデル比較を行う。

(a) 軒天換気モデル

図7(c)から、強風時では通気層厚みによる差異はないが、比較的静穏な状態では通気層厚45mm(R6)と90mm(R7)モデルの温度変動の差異は殆ど無いものの、18mmモデル(R5)は北面では外気との追従性がやや悪く南面では変動幅がやや大きいことがわかる。特に、晴天日の昼間は南面側がかなり上昇し、夜間は南面・北面とも外気温よりかなり低下する機会が多い。これは、他のモデルに比べて18mmモデルは通気量が少ないことで、前述(3.3②)したように、外部要因による影響が表れたものと考えられる。

図7(e)、(f)から、振幅が大きい18mmモデルを含めて全モデルの通気層温度は、天井断熱の小屋裏温度と比べ

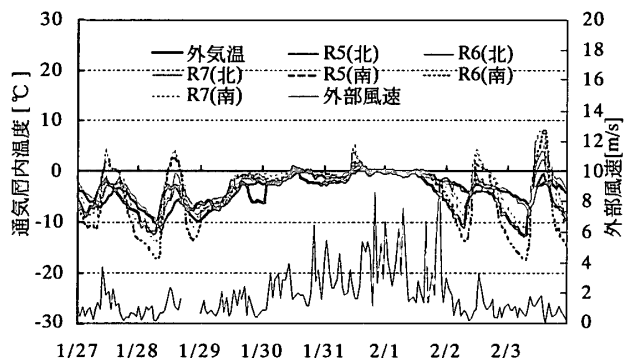


図7(c) 軒天換気モデルの通気層内中央部の温度変化

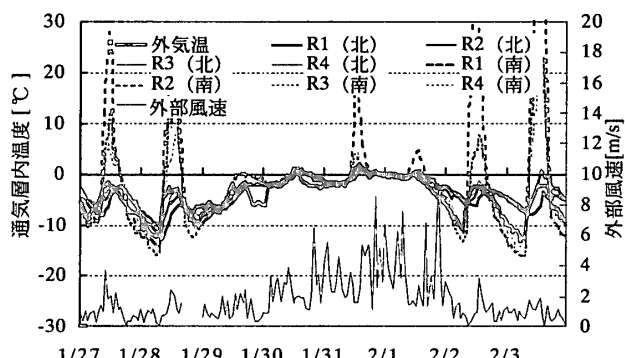


図7(d) 棟換気併用モデルの通気層内中央部の温度変化

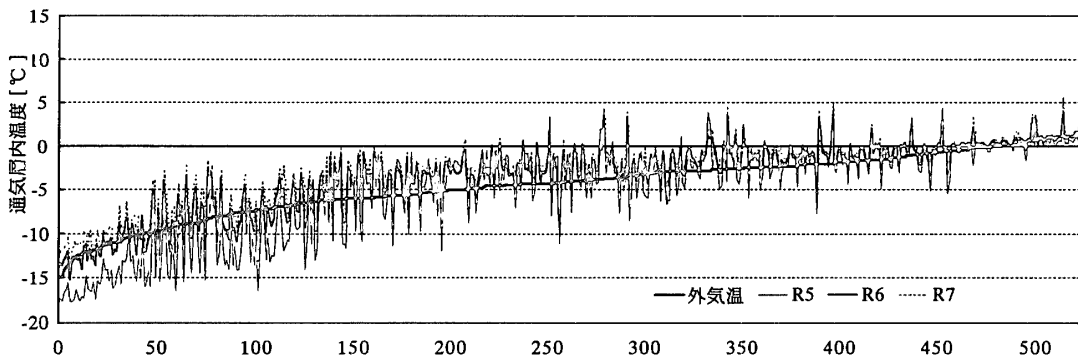


図7(e) 軒天換気モデルの南面の通気層内中央部の温度と外気温の関係

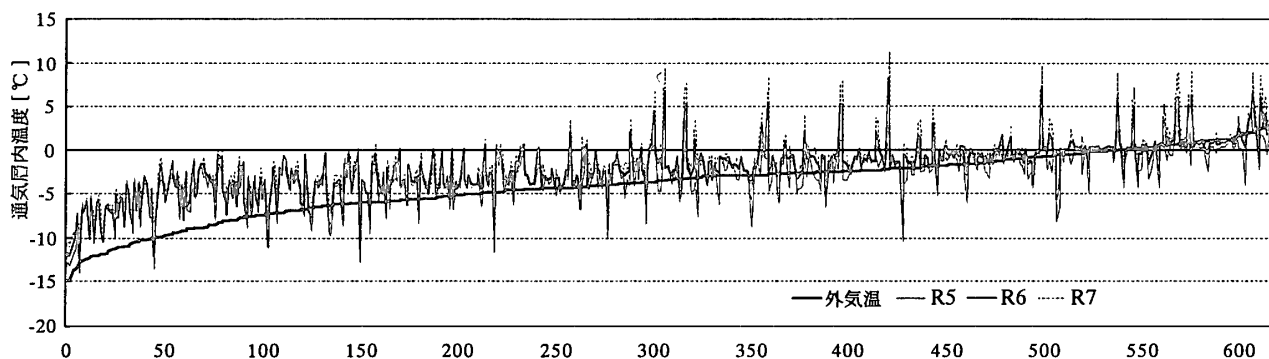


図7(f) 軒天換気モデルの北面の通気層内中央部の温度と外気温の関係

て外気温との追従性が良好で、外気温が $-1^{\circ}\text{C}$ 以下の場合に通気層温度が概ねマイナスに保たれていることがわかる。このような温度特性が、融雪障害を殆ど生じさせない理由となったのであろう。

(b) 棟換気併用モデル

図7 (d) から、軒天換気モデルと同様に、強風時の通気層厚みによる差異は少ないこと、比較的静穏な状態では通気層厚 $30 \cdot 45 \cdot 90\text{mm}$ モデル (R 2~4) の差異は無いものの、 $18\text{mm}$ モデル (R 1) は (a) と同様の傾向となっていることがわかる。また全モデルにおいて、日中時南面は、軒天換気モデルより一時的な温度上昇が著しいのが特徴的である。

図7 (h) から、北面は軒天換気モデルより外気温との追従性が良好となり、棟換気併用の有効性が示されている。しかし、図7 (g) からは、南面は軒天換気モデルより一時的な温度上昇が多く見られ、わずかに高い温度レベルに保たれていることがわかる。

しかし、この換気方式でも、天井断熱モデルと比べて外気温との追従性は極めて良好で、融雪障害はほとんど生じていない。外部風向が絶えず変化することを前提に考えれば、風上側の換気促進効果がある棟換気併用方式も有効であるといえよう。

4 まとめ

実測結果の整理のため、屋根面積雪期間において外気温が $0^{\circ}\text{C}$ 以下の場合に小屋裏・通気層内温度がプラスになる頻度をモデル毎に表2に示す。本論で述べてきた各

モデルの温度特性は、この表からも良く説明できる。

換気方式が異なる天井断熱と屋根断熱の実物大モデル冬期温度測定・観察結果から次のことが明らかとなった。

(1) 屋根面積雪時の融雪障害に関しては小屋裏温度や通気層温度が支配的要因であり、外気温が $0^{\circ}\text{C}$ 以下の場合に小屋裏や通気層温度を概ねマイナスに保つことが融雪障害の防止に有効である。

(2) 小屋裏換気を講じた天井断熱の小屋裏空間内部は、かなり均一な温度性状となっている。

(3) 天井断熱の軒天換気モデルでは、軒天換気面積の差異が小屋裏温度にも良く現れているが、いずれも外気温との追従性が悪く融雪障害が発生した。また、棟換気

表2 モデル比較

断熱部位	モデル No.	換気方式		屋根面積雪時間	障害が発生しやすい条件となる頻度 [%]	
		棟換気併用	軒天換気のみ		南面	北面
天井断熱	C1		○	526	59.7	
	C2	○			34.2	
	C3	△			35.9	
	C4		△		70.3	
屋根断熱	R1	○		南側 526	16.0	1.7
	R2	○			15.9	6.3
	R3	○			12.5	3.4
	R4	○			14.4	3.6
	R5		○	北側 618	9.7	3.2
	R6		○		11.2	7.0
	R7		○		13.5	9.7

障害が発生しやすい条件：外気温が $0^{\circ}\text{C}$ 未満で、小屋裏・通気層内温度が $0^{\circ}\text{C}$ 以上の場合とした。

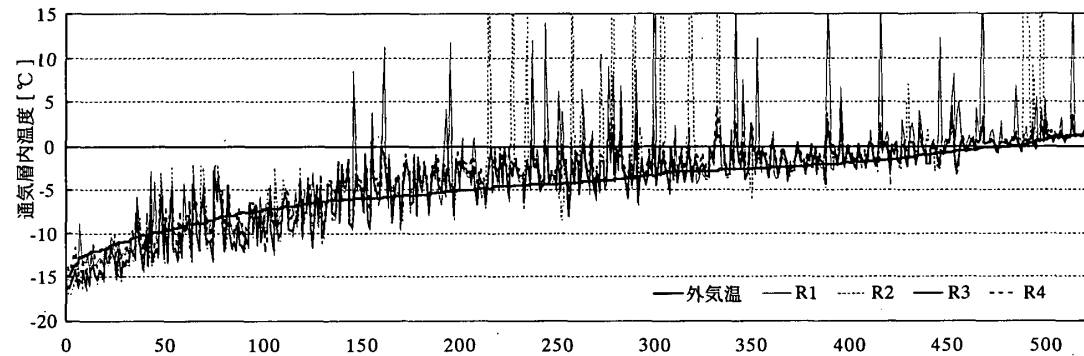


図7 (g) 棟換気併用モデルの南面の通気層内中央部の温度と外気温の関係

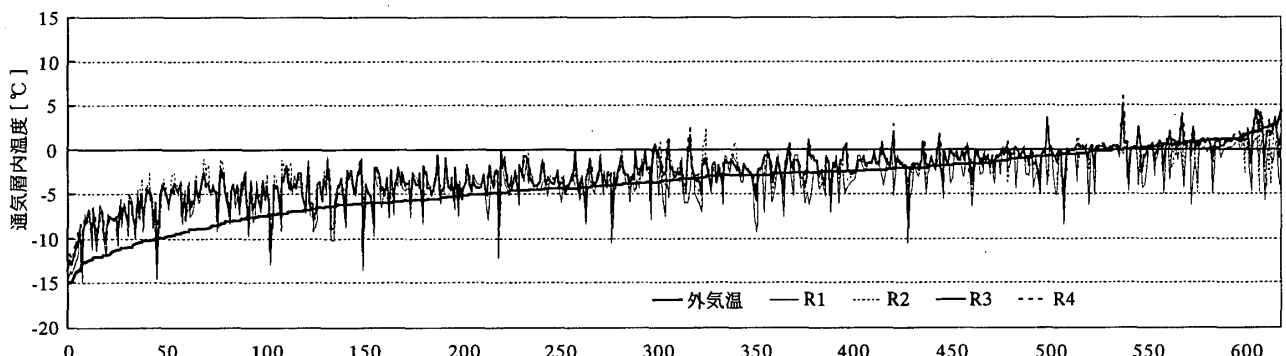


図7 (h) 棟換気併用モデルの北面の通気層内中央部の温度と外気温の関係

併用による効果は一応確認できたものの、融雪障害を防止するほどの効果は無かった。

(4) 屋根断熱の通気層温度は、換気方式や外部風速・風向によって、南北面の温度変動に大きな差異が生じる場合がある。これは、通風量との関連性が推測される。

(5) 屋根断熱では軒天換気・棟換気併用モデルとも、外気温との追従性は極めて良好で融雪障害は発生しなかった。また、通気層温度は通気層厚 30mm・45mm・90mm では殆ど差異が無いのに対し、18mm モデルは温度振幅が大きくなる傾向がある。

断熱気密性に優れた住宅の傾斜屋根において、通気層を設けた屋根断熱方式は屋根面の融雪障害防止に高い効果があることが明らかとなった。一方、本論文で設定した天井断熱モデルでは改善すべき点が多く、小屋裏換気を促進する方向で考えていく必要がある。

今後は、小屋裏・通気層の通気特性と温度性状とのかわりを明らかにし、本報で整理した実測結果と近似し得る理論解析手法を検討・確立した上で、一般住宅への適応に向けて、さまざまな換気手法・断熱仕様・住宅形態などの条件を含めた総合的な検討を進める所存である。

## 謝辞

本研究の実施にあたり、北見工業大学機械工学科教授坂本弘志氏には多方面に渡る御指導・御協力を頂いた。また、硝子繊維協会には研究遂行上様々な御協力を頂いた。記して感謝の意を表します。

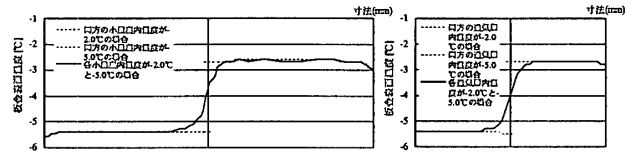
## 註

1) 住宅の小屋裏空間を、本論で前提としたような熱的に外側とする考え方と、伝統的住居に多く見られるような熱的緩衝空間として位置付ける考え方がある。後者の考え方を積雪寒冷地の断熱化住宅にあてはめた場合、熱的に曖昧な空間となってしまう、小屋裏温度が外気温より高く保たれることによる屋根面積雪障害、工法的には断熱・防湿区画が不明確になることによる小屋裏内結露障害等、昭和50年代に建設された多くの断熱化住宅で顕在化した問題が生じる危険性が高い。小屋裏内結露の防止と設計施工上の明瞭さから、積雪寒冷地の断熱化住宅においては、前者の考え方が既に一般的となっている現状にある。本論文は、このような背景から、最も施工比率の多い天井断熱住宅においては、小屋裏換気を積極的にを行い、小屋裏空間を熱的に外側として扱うことを前提として、温度性状の把握・検討を行っているものである。また、屋根断熱住宅においても、前述した障害防止や排熱のためには通気層が必要であり、同様な考え方で通気層の温度性状等の把握検討を行っているものである。

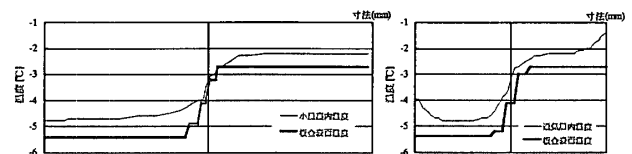
2) 我が国の住宅の小屋裏換気方式は、軒天換気のみ、軒天換気に棟換気を併用、軒天換気に妻換気を併用、妻換気のみなどのタイプが用いられている。このうち、妻換気を併用するタイプは、多方位の外部風向に対して多くの換気量が期待できるが、強風下で比重・粒径の小さな降雪が多い北海道では、小屋裏内部に雪が吹き込む危険性が高いことから施工事例は必ずしも多くない。妻換気を前提とした手法は、粉雪に対する換気口形状の改良などの余地がまだ残されており、現実的手法とは言い難いため実験モデルからは除外した。理論解析では、換気口の改良を前提とした上で、妻換気も検討に含める予定である。

3) 小屋裏・通気層温度が隣接モデルと3℃の差異がある場合、板金材が熱橋となることで板金表面温度に及ぼす影響は、2次元定常計算によると、モデル境界部約100mm程度の範囲内で約1℃程度以内と算定される(参考図1a, 2a)。その結果、隣接する小屋裏温度が高い場合には、当該モデルの屋根面融雪にもその影響が表れると推測される。3.2で示したようなR7モデルの融雪障害はこれに該当するものであろう。しかし、計算で想定したような温度差が生じているのは屋根断熱と天井断熱の境界部分のみであり、天井断熱モデル相互・屋根断熱モデル相互では小屋裏・通気層温度の差異が少ないことから、熱橋が屋根面融雪障害に与える影響は更に少ないものと推測される。

隣接する板金表面温度に違いがある場合の小屋裏温度等に及ぼす影響については、板金表面で前述した計算結果(参考図1a, 1b)のような温度差がある場合の小屋裏・通気層温度を2次元定常計算で求めた。その結果、板金の熱橋による影響は、前述した範囲で約1℃程度以内、本論文で比較指標とした各モデル中央部の温度では0.2℃程度と算定される(参考図2a, 2b)。しかし、この計算は小屋裏・通気層空間を密閉空気層として扱ったものであり、実際には外部との換気・通気があることで、この差異は更に少なくなると推定される。従って中央部温度については、その影響はほとんど無視し得るものと考え、実験モデルを設定した。



参考図1a 小屋裏内温度を $-5.0^{\circ}\text{C}$ と $2.0^{\circ}\text{C}$ に設定した場合の板金表面温度



参考図2a 板金表面温度を図に示す温度に設定した場合の小屋裏内温度

参考図2b 板金表面温度を図に示す温度に設定した場合の通気層内温度

4) ここで示す換気面積とは、換気のために開けられている孔またはスリットの実面積であり、有効開口面積ではない。各換気面積の算定根拠となる各寸法を表1中に示す。

5) 外部風向・風速は実験建物から離れた敷地内の高さ10mの位置で計測している。敷地内及び周辺敷地に建物が存在し、実験建物周辺の気流が複雑であることから、計測値と実験建物近傍の風向・風速には差異が生じていることが考えられる。今後、通気量に関する理論解析を行うには、周辺気流の影響を把握することが必要なため、周辺建物も含む半径250mの縮小モデルを作成し、風洞実験によって計測位置の16風向に対する実験建物各点の風圧分布を計測している。実験結果の概略は既発表文献I)を参考にされたい。

6) R7モデルの軒先に氷柱が多く発生しているのは、3.3及び註3)で示したように、比較的小屋裏温度の高いC1モデルが隣接しており、屋根板金材の熱橋による影響が現れたためと考えられる。

7) 参考文献10), 11)から積雪厚さが約100~200mm程度である場合の熱伝導率は $0.1247 \text{ [kcal/mh}^{\circ}\text{C]} (200\text{kg/m}^3)$ 、光線反射率は66%~67%程度と推定される。

## 本論文に關係する主な既発表文献

- 1) 鈴木大陸, 坂本弘志ほか5名: 積雪寒冷地にふさわしい屋根工法に関する研究(その1), 日本建築学会大会北海道支部研究報告集, pp.257-260, 1995.3.
- 2) 本間森規, 鈴木大陸ほか5名: 積雪寒冷地にふさわしい屋根工法に関する研究(その2), 日本建築学会大会北海道支部研究報告集, pp.261-264, 1995.3.

## 参考文献

- 1) 日本建築学会北海道支部編: 寒地建築教材(概論編), 彰国社, 1982.11.
- 2) 松本 簡, 石田武司: 小屋裏の結露防止に関する研究, 日本建築学会近畿支部研究報告集, pp.21-24, 1987.5.
- 3) 松本 簡, 宮田増久: 小屋裏の温度変動に関する研究(その1~2), 日本建築学会近畿支部研究報告集, 1989.5.
- 4) 宮田増久, 松本 簡: 住宅の小屋裏と床下空間の熱・湿気性状, 日本建築学会計画系論文集 第457号, pp.19-28, 1994.3.
- 5) 宮田増久, 松本 簡: 小屋裏空間の熱・湿気性状に関する解析的研究, 日本建築学会計画系論文集 第457号, pp.29-38, 1994.3.
- 6) 赤坂 裕, 黒木莊一郎ほか1名: 小屋裏強制換気による排熱効果に関する研究(その2), 日本建築学会大会学術講演梗概集D, pp.581-582, 1990.10.
- 7) 須貝 高, 尾崎明仁ほか2名: 小屋裏換気と断熱通気屋根の遮熱・排熱効果, 日本建築学会大会学術講演梗概集D, pp.59-62, 1995.8.
- 8) 赤林伸一, 坂口淳ほか1名: 小屋裏の換気性状と音熱環境に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集D, pp.63-66, 1995.8.
- 9) 住宅新省エネルギー基準: 通商産業省・建設省告示第2号, 1992.28 傾斜屋根の場合の天井断熱及び屋根断熱モデルの冬期温度特性について
- 10) 基礎雪氷講座I 雪氷の構造と物性, 古今書院
- 11) 基礎雪氷講座VI 雪氷水文現象, 古今書院

(1995年10月9日原稿受理, 1996年3月12日採用決定)