

# 外張り断熱によるスチールハウスの快適居住環境の確保

## High Insulation Performance of Steel-Framed House by Exterior Insulation

高橋通泰/Michiyasu Takahashi・総合技術研究所 化学研究部 副主任研究員

皆川みと/Mito Minagawa・鋼板事業部 薄板建材部 スチールハウス技術グループ 参事補

渡辺和喜/Kazuki Watanabe・鋼板事業部 薄板建材部 スチールハウス技術グループ

### 要 約

スチールハウスは、木造枠組み工法の枠組み材を薄板のスチール材に置き換えた工法で、近年、米国、オーストラリア等で急速に普及している。構造躯体に吸放湿性のないスチールを用いるため、吸放湿性による素材経年劣化が無く、永続的に強度を維持できるという特徴がある。この特徴を最大限に活かすためには高い熱伝導性を有するスチールに、適切な断熱・防湿システムを採用し、熱橋を抑制し、熱損失の増大や結露を防止することが重要である。筆者らは、実体評価とシミュレーションにより、この熱橋の抑制には外張り断熱が最も効果的であることを明らかにした。また、この外張り断熱を外壁に適用した長野市のモニターハウスでは、外壁表面の湿度分布はほとんど観察されず、また、壁内での結露も全く認められず、その効果が実証された。

結果として、この外張り断熱により得られた環境で、強度劣化のないスチールを用いることにより、非常に高耐久性の構造躯体とすることに成功した。

### Synopsis

The steel-framed house is now being built with studs made of thin gauge steel sheets as substitutes for lumber, and recently it is popularized rapidly in the USA, Australia and so on. Because steel studs which never absorb or emit humidity, the rigidity of the structural body can be maintained permanently, compared with lumber whose durability is inferior because it can easily absorb and emit humidity. However, since steel studs have a high thermal conductivity, and if appropriate insulation isn't applied, they are apt to be a thermal bridge which causes an increase of heat loss and water condensation. We showed that exterior insulation was the most effective method to prevent the thermal bridge by an evaluation that used an actual sized specimen and a numerical simulation. Furthermore, by monitoring temperature and humidity in the steel-framed house for, the distribution of the temperature and the water condensation were never observed in the wall, therefore, the positive effect of the exterior insulation was demonstrated.

As a result, a very high durability of the structural body was achieved by the application of steel studs whose strength never decrease under an environment made by using exterior insulation.

## 1. 緒 言

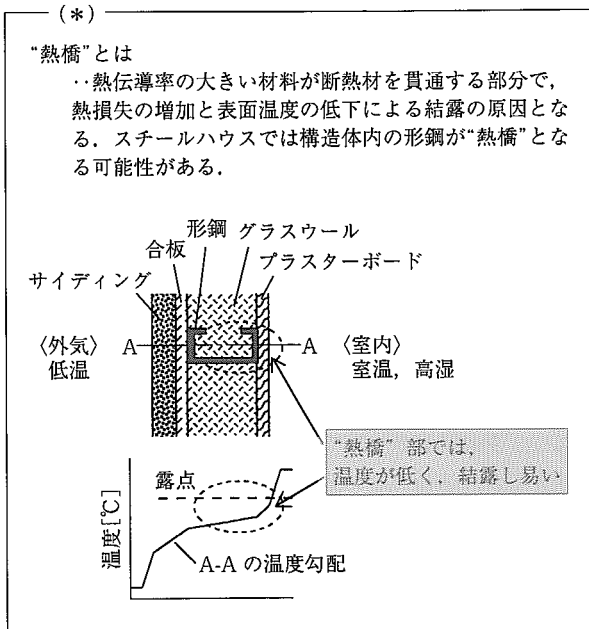
住宅を断熱化し各部位の防湿対策を施すことは、居住者の快適性、健康を維持するため、また、資源エネルギーを合理的に利用し快適な居住環境を確保しながら地球環境の保全にも資するために重要な役割を担っている。省エネルギーを推進するために、昭和54年に「エネルギー仕様の合理化に関する法律」が制定されたが、これは一般に「省エネ法」と略称され、全国を地域に分け、それぞれの地域について熱損失係数を定めた。その後、平成4年に、地域ごとの熱損失係数は非常にシビアな方向に改正され、気密構造の規定と冷房による省エネルギーを考えて日射取得係数

が新たに導入された<sup>1)</sup>。

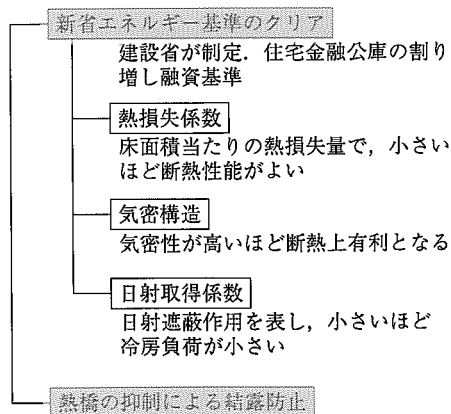
また、適切な断熱化、防湿化は、構造躯体を経年劣化から守ることにともなり、高耐久性が要求される次世代住宅に欠くことのできない要求性能である。現在、当社をはじめ鉄鋼各社が開発を進めているスチールハウスでは、構造躯体に吸放湿性のないスチールを用いるため、吸放湿性のある素材では経年劣化が大きいのに比べて、永続的に強度を維持できるという特徴がある。したがって、スチールハウスにおいては、この特徴(性能)を損なわない断熱・防湿システムを採用することが重要である。具体的には、高い熱伝導性を有するスチールに熱橋(\*)を生じさせず、熱損失や結露を招かない断熱・防湿システムである。結露はス

チールの発錆を促進し、構造用合板を腐朽させ、構造躯体全体の強度低下をもたらしかねない。したがって、スチールハウスの場合には、上述の要求性能の他に、熱橋の抑制による結露防止が、断熱・防湿システムを選定する重要な指標となる。

以上の要求性能をまとめると、第1表となる。



第1表 スチールハウスに要求される断熱性能  
 Table 1 Insulation performance required for steel-framed house



本報では、スチールハウスで、この熱橋を抑制し結露防止が可能であり、スチール本来の特徴を永続的に発現できるような断熱・防湿システムを検討したので結果を報告する。まず、ラボでの実体評価結果を説明し、ここで得られた最適なシステムである「外張り断熱」を実際のスチールハウスに適用した場合のモニター結果について述べる。

## 2. 実験方法

### 2-1 試験体の作成

試験体は、第2表に示す、9仕様のスチールハウス外壁である。これらの試験体はすべて W1820×H1820mm<sup>2</sup>の大きさで、構造の異なるもの4体と、その室外側(冷却側)表面にウレタンボード(厚さ25mm または40mm)を貼り付けたもの5体である。

### 2-2 熱貫流率および温度分布測定方法

断熱性能試験は、JIS A 1414-1994「建築用構成材(パネル)およびその構成部分の性能試験方法」の「6-6熱貫流試験」に準じて、日本建築総合試験所で実施した。温度分布の測定は、室内側(=加熱側)の空気温度を20℃に、室外側(=冷却側)の空気温度を-10℃に設定して行った。試験体の表面および内部の温度分布測定部位は石膏ボードおよび合板の固定ビスを含む水平断面内である。温度測定にはT型熱電対(銅-コンスタンタン、φ0.2mm)を使用した。試験体への熱電対取り付け状況を第1図に示す。

また、試験体 No.1, 2 については熱貫流率も測定した。

### 2-3 モニターハウス

省エネ基準としては第3地域に区分される長野市に、上述の実体評価と後述する外壁の熱橋シミュレーションにより最適と判断された断熱仕様を適用したモニターハウスを建設し、昨年度一年間温湿度をモニターした。測定部位は、外壁、小屋裏、床下等であるが、本報告では、第2図に示す部位の外壁内での温湿度モニター結果を報告する。

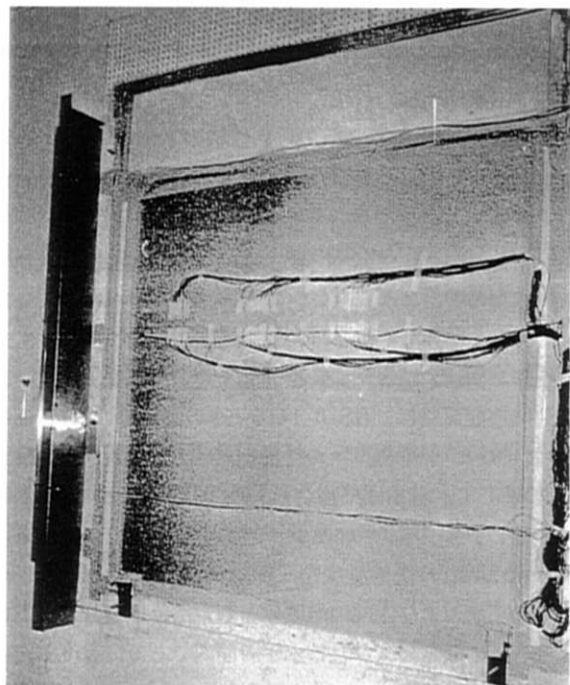
第2表 試験体の概要  
 Table 2 Specifications of specimens (mm)

	Inner	Between studs	Outer	Exterior insulation
1	Plaster board (12.5)	Cavity (90)	Structural plywood (9)	-
2	↑	↑	↑	Urethane board (25)
3	↑	↑	↑	-
4	↑	↑	↑	Urethane board (25)
5	↑	↑	↑	Urethane board (40)
6	↑	Glass wool 24K	↑	-
7	↑	↑ (125)	↑	Urethane board (25)
8	↑	Urethane foam	↑	-
9	↑	↑ (15)	↑	Urethane board (25)

### 3. 結果と考察

#### 3-1 外壁の実体評価

スチールハウス外壁のスタッドによる熱橋を遮断できる可能性のある断熱仕様としては、第2表に示す断熱仕様のうち、外張り断熱の試験体4と、充填断熱と木栈を併



第1図 熱電対取り付け状況(加熱側(室内側))  
Fig. 1 Appearance of attachment of thermo-couples (Inner)

用した試験体6が挙げられる。主としてこれらの性能を、3-1-2で述べる。

##### 3-1-1 熱貫流試験

試験体1と2を用いて熱貫流率を測定した。結果を、第3表に示す。試験体1は、無断熱のため熱貫流率は当然大きくなっているが、外張り断熱を施した試験体2では、第3地域の省エネ基準を十分満たす性能であった。

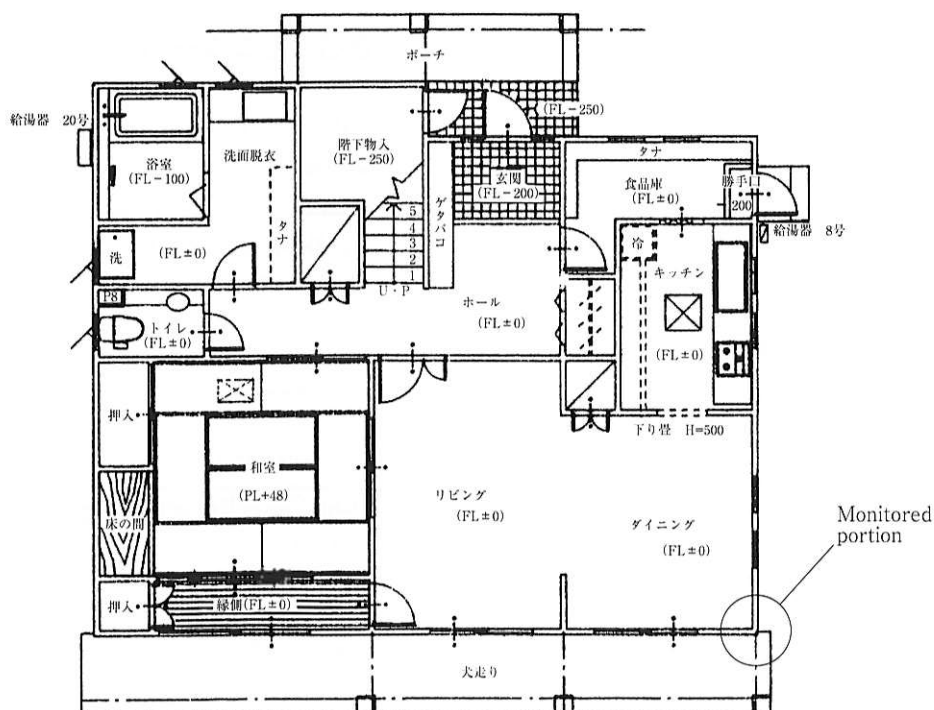
第3表 熱貫流率測定結果

Table 3 Result of thermal conductivity measurement

	Thermal conductivity [W/m <sup>2</sup> · K]
1	2.33
2	0.72

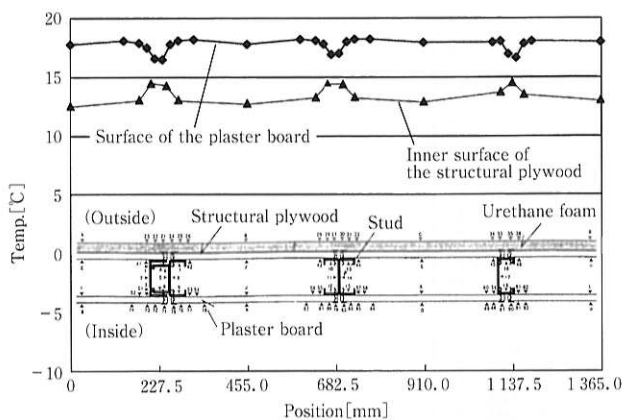
##### 3-1-2 温度分布

外張り断熱の試験体4と充填断熱と木栈を併用した試験体6の温度分布を、第3図および第4図に示す。第4図から、熱橋の遮断を期待して木栈を用いても、スタッド部での室内側表面温度の低下は著しく、特に、スタッドが重なり合い断熱材が入り込まない部位では、冬季の一般的な室内環境である20℃、60%RHの露点12℃以下にまで低下し、表面結露の可能性が高いことが判った。また、合板裏面の温度が、0℃以下となっており、壁内に水分が侵入した場合に、結露の危険性が非常に高い。一方、第3図に示すように、外張り断熱の場合には、ビスがあってもスタッド部での温度低下はほとんど認められず、表面結露の可能性は全くないことが判った。また、壁内はほぼ



第2図 モニターハウス間取り図

Fig. 2 Plan of the steel-framed house for monitoring temperature and humidity



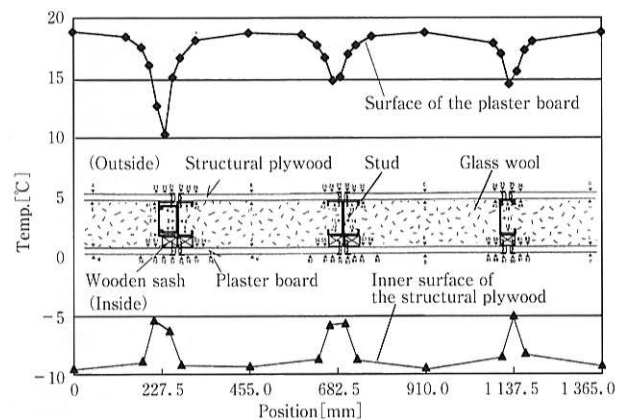
第3図 外張り断熱の試験体の温度分布

Fig. 3 Temperature distribution of the specimen insulated by the exterior insulation

室内温度と同じであり、結露の可能性はほとんどないことが判った。

また、第5図にサーモカメラによる表面温度分布の測定結果を示す。充填断熱と木棧の併用では、スタッド部での温度低下が大きく、熱橋の遮断が不十分であることが判る。一方、外張り断熱では温度分布はほとんど認められなかった。

また、財住宅・建築省エネルギー機構製、「熱橋計算プログラム TB1」を用いて、それぞれの断熱性能を計算した結果を第5図に併せて示す<sup>2)</sup>。これからも、充填断熱と木棧の併用では、外張り断熱に比べて、熱損失は小さいも



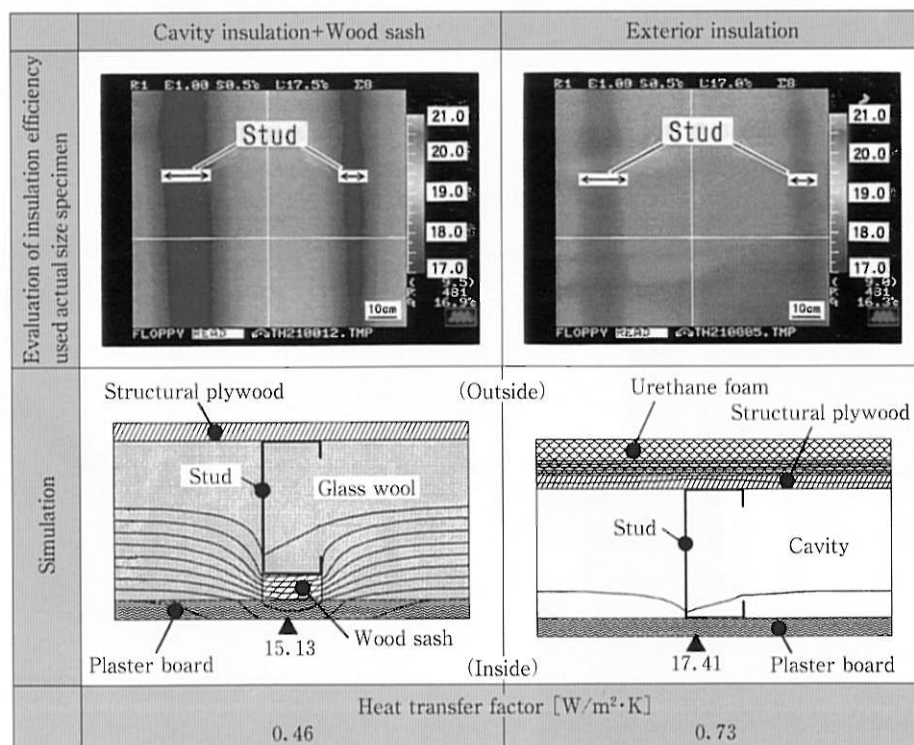
第4図 充填断熱+木棧の試験体の温度分布

Fig. 4 Temperature distribution of the specimen insulated by the cavity insulation+Wooden sash

の、室内の露点である12°C以下の部位が大きく内部結露の危険域が高いことが判った。

### 3-2 モニターハウス

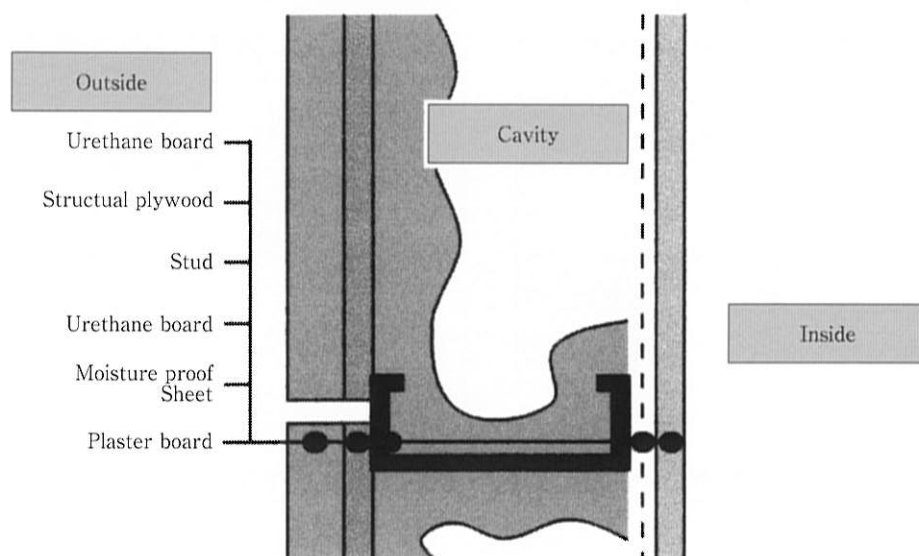
当社が長野市に建設したスチールハウスの外壁の断熱仕様は、第6図に示すものである。これは、前述したように熱橋を大幅に抑制できる外張り断熱に、断熱性能の更なる向上を狙って付加的に壁内にウレタンを吹き付けたものである。これは、第2表中の試験体9にあたる。本報では詳しく述べないが、ラボでの性能評価により、外張り断熱のみと同等の断熱性能が確認されている。



第5図 サーモカメラとシミュレーションによる断熱性評価

Fig. 5 Evaluation of insulation efficiency by thermo-camera and numerical simulation

## 技術報文



第6図 長野市スチールハウスの断熱仕様

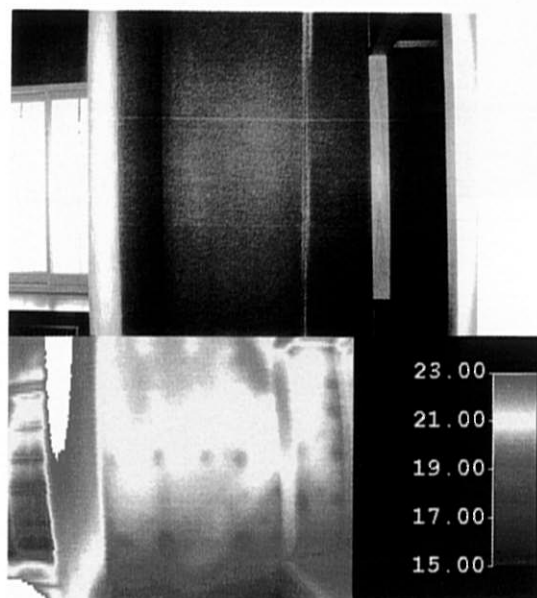
Fig. 6 Insulation method of the steel-framed house in Nagano city

## 3-2-1 モニターハウス外壁の温度分布測定

第7図はサーモカメラにより室内側から撮影した、和室の床の間付近の外壁の温度分布である。開口部と日射の影響により、部分的に温度上昇が観られるものの、外壁部分では、スタッドに起因する温度分布は観察されなかった。

## 3-2-2 温湿度モニター結果

第8図に、南側外壁隅角部(第2図中○印)での結露判定を示す。この横軸は、壁内の温湿度から求まる露点<sup>3)</sup>を、また縦軸は、隅角部のスタッド温度を表している。このスタッド温度が露点よりも高ければ結露は生じない。第8図から判るとおり、スタッド温度は、壁内の露点より、常に5℃以上高く、年間を通じて全く結露は生じていない



第7図 モニターハウス外壁の温度分布

Fig. 7 Temperature distribution of the wall of the monitor house evaluated by thermo-camera

と考えられる。また、第9図に南側外壁の合板裏面(壁内側)温度と露点の関係を示す。これからも、合板裏面で全く結露が生じていないことが判る。

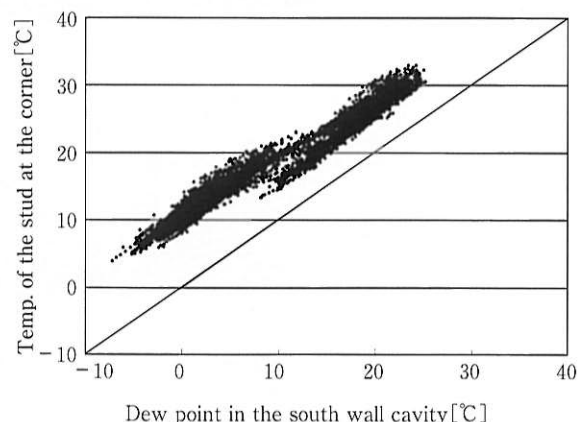
## 3-2-3 室内の高さ方向の温度分布

第10図に居間での高さごとの温度変化を示す。天井に近い程温度は高くなっているが、天井近傍の温度と床の直上の温度とは、平均で約3℃の差であり、外気温が-5℃以下となった日でも、3～5℃の差異でしかなかった。このことから、外張り断熱では、上下方向の温度分布が小さく、断熱性に優れていることが判った。

3-2-4 気密性<sup>4)</sup>

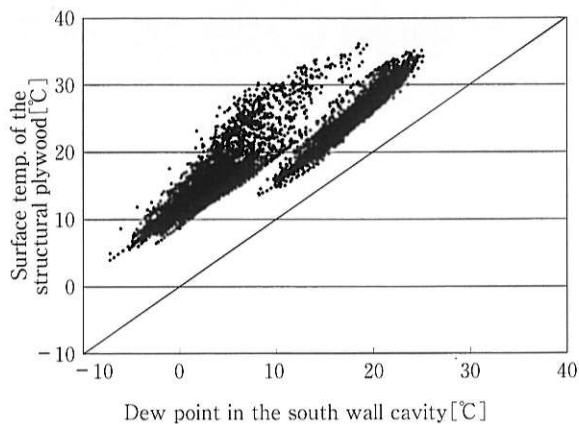
サーモカメラによる温度分布測定や温湿度モニタリングの他に気密性も測定した。結果は、相当隙間面積で2.9 cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>と、気密住宅の基準である5 cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>に比べ大幅に小さく、気密性も極めて良好であることが実証された。

これらにより、ラボでの実体評価やシミュレーションが裏付けられ、外張り断熱の効果が実証された。



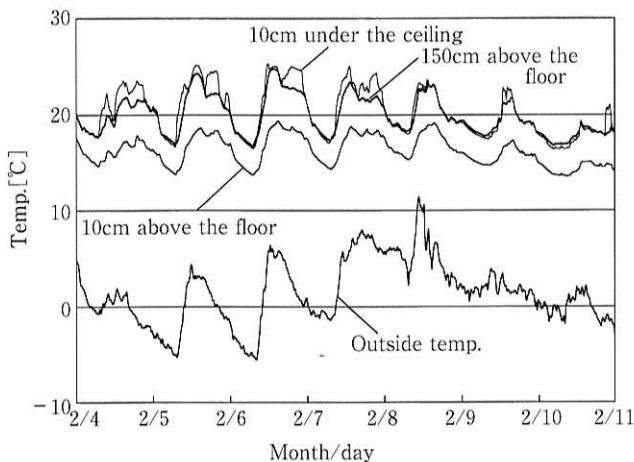
第8図 外壁隅角部スタッドでの結露判定

Fig. 8 Probability of the water condensation on the stud at the corner



第9図 外壁合板裏面での結露判定

Fig. 9 Probability of water condensation on the inner surface of the structural plywood



第10図 居間の高さ方向の温度分布

Fig. 10 Transition of the temperature at every height in the living room

## 4. 結 言

今回、スチールハウスの断熱仕様を決定するための一助とすべく、スチールハウス外壁の実体評価とシミュレーションを実施した。この結果、スチールハウスの熱橋対策としては、『外張り断熱』を用いるのが最も有効であることが明らかとなった。KC型スチールハウスでは、この『外張り断熱工法』を採用している<sup>5)</sup>。また、この外張り断熱を採用したスチールハウスで外壁の温度分布と壁内の温度分布変化を測定したところ、スタッド部でも温度分布はほとんど観察されず、また、結露も全く生じていないと考えられ、外張り断熱工法の効果が実証された。



高橋通泰 / Michiyasu Takahashi

総合技術研究所 化学研究部  
副主任研究員

(問合せ先: 06(489)5728)

## 参考文献

- 1) 建設省住宅局住宅生産課：住宅の新省エネルギー基準と指針，(財)住宅・建築省エネルギー機構，(1996)
- 2) 堀ノ内康丈，赤坂裕，二宮秀典，海江田貴光，山内宏，荒木章夫：日本建築学会大会学術講演梗概集，No. 41008 (1997)，p. 15
- 3) 湿度 HAND BOOK：第一科学
- 4) 樋口誠六，坂本雄三，中川郷司，青木能理顕，永田明寛：日本建築学会大会学術講演梗概集，No. 41010 (1997)，p. 19
- 5) 砂川雅彦，鈴木大隆，坂本雄三，赤坂裕，近藤稔，大森忠昭：日本建築学会大会学術講演梗概集，No. 41007 (1997)，p. 13