

# “環境に優しい住宅”スチールハウス

## Steel Framed Houses, Environmentally Friendly Houses

作本好文<sup>\*(1)</sup> 野村広正<sup>\*(2)</sup> 堂野前等<sup>\*(3)</sup> 菅野良一<sup>\*(4)</sup>  
 Yoshifumi Hironoma NOMURA Hitoshi DOHNOMAE Ryoichi KANNO  
 SAKUMOTO

### 抄 録

スチールハウスは、木造住宅の構造部材を木材から鋼材(めっき鋼板)に置き換えた住宅である。木造住宅に比べて耐久性に優れていること、リサイクルできること、森林伐採を抑制できることなどから地球環境保全に貢献できる新工法として注目されている。スチールハウスと木造住宅の性能を環境に関連するもので比較し、住宅における環境問題を明らかにした。

### Abstract

In steel-framed houses, coated steel parts substitute for the wooden structural members of conventional wooden houses. The advantages of steel-framed houses over wooden houses such as greater durability, better recyclability and prevention of deforestation make them desirable as a new, environment-friendly house construction method. This paper clarifies environmental issues surrounding houses by comparing the performances of steel and wooden houses.

### 1. 緒言

スチールハウスは、木造住宅の構造部材を木材から板厚1.0mm前後のめっき鋼板に置き換えた住宅である。この工法は、アメリカで約25年前に実用化されたものであるが、1992年のクリントン大統領の国有林伐採禁止令で木材価格が高騰したことから急速に普及し、1998年には年間約10万戸が建設されている。我が国でも、1995年の阪神・淡路大震災で木造住宅が数多く倒壊したことを契機に建設が始まり、累計で150戸程度が建設されている。写真1に、新日本製鐵の協力で北九州市に建設されたスチールハウスの建設状況を示す。

アメリカでこのように普及した理由として、アメリカ鉄鋼協会(American Iron and Steel Institutes)がスチールハウスを“環境に優しい住宅”として積極的に宣伝したことがあげられる。例えば、1998年3月、同協会はフロリダでサステイナブルスチール会議(the International Conference on Steel in Green Building Construction)を開催している。この会議では住宅を中心に、鉄骨建築がその耐久性、環境負荷、リサイクル、省エネルギー等からサステイナブルである(持続可能な=環境に優しい)との立場で各国の研究が発表され、我が国からも筆者らが参加している<sup>1)</sup>。

表1にスチールハウスと木造住宅(ツーバイフォー、以下2×4)の構造材の数量比較を示す。ここで、1階床は床を組んだ場合と土間コンクリートを床とした場合で比較している。木造住宅では約17 m<sup>3</sup>(7.5ton)の木材が使用され<sup>2)</sup>、約1 000~1 500m<sup>2</sup>の森林伐採

が必要となるが、スチールハウスではこれが約5 tonのリサイクル可能なスチールに置き代わることとなる。このように、スチールハウスは貴重な森林資源を保護するとの観点から環境に優しい住宅と言えるが、耐久性、省エネルギー等の評価も必要となる。

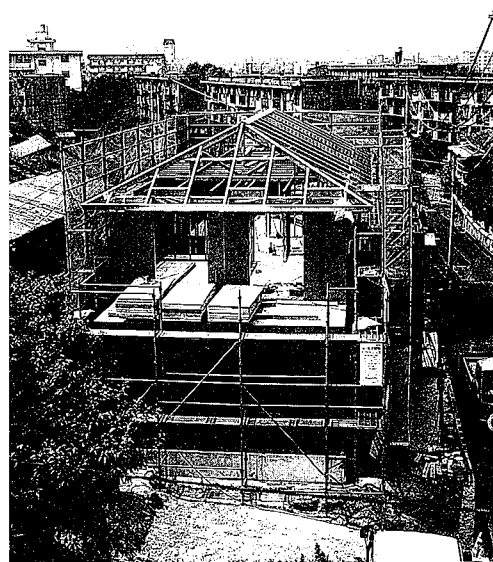


写真1 スチールハウスの建設状況

\*<sup>(1)</sup> 建材開発技術部 グループリーダー 工博(薄板営業部 マネジャー兼務)  
 東京都千代田区大手町2-6-3 ☎100-8071 ☎(03)3275-7775

\*<sup>(2)</sup> 鉄鋼研究所 表面処理研究部 主任研究員

\*<sup>(3)</sup> 先端技術研究所 新材料研究部 主任研究員 理博

\*<sup>(4)</sup> 鉄鋼研究所 鋼構造研究開発センター 主任研究員 Ph.D.

表1 スチールハウスと木造住宅の躯体数量比較

	スチールハウス		木造住宅	
	床組	コンクリート	床組	コンクリート
1階床構造	—	—	0.440	0.402
単位	m <sup>3</sup> /坪	—	—	—
数量	kg/坪	124.5	111.3	184.8
単位数量比較		0.67	0.66	1.0
数量(120m <sup>2</sup> )		4.98ton	4.45ton	17.6m <sup>3</sup>

本報では、新日本製鐵及び鋼材倶楽部で共同開発中の技術から、環境に関連するものを取り上げ、その取り組み状況を報告する。

## 2. 耐久性

阪神・淡路大震災で木造住宅が数多く倒壊した理由の一つとして、木材の腐食、蟻害があげられている。木造住宅の耐用年数は、特別な措置(柱のサイズを大きくする等)を講じなければ25年と言われており、防蟻剤の健康への影響もあり、抜本的な改善は困難と考えられている。

一方、スチールハウスは、

- (1) 耐久性に優れためっき鋼板を用いている
- (2) 高気密、高断熱住宅となり防露対策が万全である

ことから、確実な施工を行えば50年以上の耐久性を有していると考えられる。スチールハウスの耐用年数は、住宅内部の腐食環境と鋼板の腐食速度(めっき減量)の相関を明らかにすることで定量的に求めることができる<sup>3,4)</sup>。写真2は、新日本製鐵が計測を行っている熊本県阿蘇山麓のスチールハウスである。

住宅内部の腐食環境(センサーの電流出力)は、屋外(軒下)、屋内(壁内、風呂場壁内及び天井裏)の4箇所に取り付いたACMセンサーで測定している。また、腐食環境と腐食速度(めっき減量)の相関は、別途、静岡県清水市の東京商船大学にACMセンサー及び鋼板サンプルを入れた模擬容器を暴露し、各々に関東ローム及び海塩を付着させ促進した状態で測定している。図1に測定結果を示す。模擬容器の測定から腐食環境と腐食速度の相関が明らかとなった。住宅内の腐食環境は、防露対策が十分であることから屋内に設置したセンサーの出力は微少で、前述の相関から推定すると腐食速度は極めて遅く、100年を超える耐用年数が想定される。

このように、スチールハウスの耐久性は木造住宅と比べて格段に優れており、このことが、建設、解体、廃棄の各段階での環境負荷の軽減に寄与することとなる。



写真2 腐食環境測定中のスチールハウス

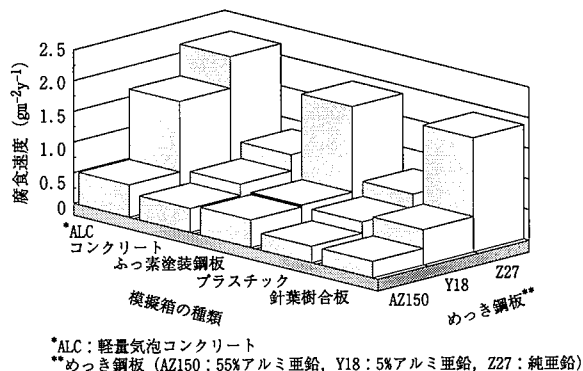


図1 12か月間模擬容器暴露試験後のめっき鋼板の腐食速度 (屋外、関東ローム: 10g/m<sup>2</sup>、海塩: 0.1g/m<sup>2</sup>)

## 3. ライフサイクルアセスメント(LCA)による環境影響度比較

本章では、木材と鋼材のLCA評価を住宅としてではなく、構造部材に限定して報告する。また評価は、住宅のライフサイクルのうち材料の製造及びリサイクルにおける環境への影響度に限定し、施工、使用、保守などに関わる影響は除外した。これは、この評価が構造部材を構成する材料の違いに集約されるからである。

### 3.1 評価手法

LCAの評価手法は、Leiden大学を中心とするグループによる研究<sup>5)</sup>の枠組み及びインパクト係数を基本とした。またインベントリーデータは、鉄鋼製造プロセスを除き全て公知文献<sup>6)</sup>から引用した。評価計算は、オランダのPRe社のLCAソフトSimaPro3.0<sup>7)</sup>を用いた。評価モデルの設定は以下のとおりである。

#### (1)木材<sup>8)</sup>

カナダまたはアメリカで現地挽きされた乾燥材とし、気乾比重は0.45、含水率は15%と仮定した。伐採される森林資源の質に注目し、製材用の立木伐採に占める枯渇性資源(天然林と老齢二次林)の割合<sup>9)</sup>を評価した。防腐防蟻処理についてはCCA処理(Cr-Cu-As化合物系薬剤処理)を仮定した(ただし、土台のみ構造部材全体の5%と仮定)。なお、住宅廃棄後のリサイクル率は51%と見積もっている<sup>10)</sup>。

#### (2)鋼材

木材1m<sup>3</sup>と等価な鋼材の重量は283.0kgとした(表1)。鉄鋼製造プロセスについては、日本鉄鋼連盟が内部で検討している日本標準データの中間整理結果<sup>11)</sup>を採用した。住宅廃棄後の鉄スクラップのリサイクル率は93%と見積もった<sup>10)</sup>。

環境影響度の評価は、Leidenの手法<sup>5)</sup>であげられている評価項目のうち、定量化ファクターの開発が不十分な項目と木材と鋼材の比較に適さない項目を除外し、“資源枯渇への影響度”、“温室効果”、“人に対する毒性”の三つを評価項目とした。さらに、日本における建設廃棄物問題の現状を捉えた“廃棄物排出”、簡易LCA評価でしばしばとりあげられている“エネルギー消費”の2項目を加え、5項目について論じる。

なお、スチールハウスの耐用年数は50年、木造住宅は25年と仮定した(2章)。比較は50年間当たりの環境影響度として規格化する必要が生じ、鋼材は1回、木材は2回のライフサイクルを経る。すなわち、木材は2m<sup>3</sup>分の影響度を提示している。

### 3.2 評価結果

5項目についての比較を表2及び図2～6に示す。

表2 環境影響度の総合比較

評価項目	単位	鋼材	木材
廃棄物排出量	m <sup>3</sup>	0.0025	0.978
人体への毒性	kg	1.91	19.12
資源枯渇	×10 <sup>-11</sup>	7.28	32.80
エネルギー消費	MJ	3 637	12 038
温室効果*	CO <sub>2</sub> 等量 - kg	680	899(212)

\*温室効果についてはケースaの値、( )内はケースbの値

(1) 廃棄物排出

住宅解体後に排出される廃棄物の体積を50年当たりで比較した(図2)。廃棄物量は、木材が製品2m<sup>3</sup>当たり0.978m<sup>3</sup>、鋼材はその約1/400である。床面積120m<sup>2</sup>程度の木造住宅を1回建て替えるごとに、重量で約3ton、体積で約7m<sup>3</sup>、住宅1棟で約30%の廃棄物削減効果となる。

(2) 人体に対する毒性

人体に対する毒性は人間の1日許容摂取量と簡単な曝露モデルをベースに評価されている。単位はkg、例えば毒性影響度が60kgであれば、60kgの体重の人間の1日許容摂取量に相当する。木材の毒性は、図3からはスチールの10倍程度高いと結論出来る。木材では、防蟻処理木材の廃棄が毒性影響度の80%に相当している。これでも曝露モデルでは、人体への曝露量が最も少なくなる土壌への放出の経路を仮定している。実際には野焼きなどにより毒性物質が大气中へ拡散されるなど、現実より過小評価となっている可能性が高い。

一方、鋼材では、鉄鋼製造プロセスが1/3、残りの2/3が木材と同様に輸送など多くのプロセスにおける化石燃料燃焼由来のSO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>、COの合計である。また、懸念されたクロメートの毒性については、実際にはクロメートが家屋の使用中に環境中へ溶出する量は極微量であり、廃棄後は鋼板のリサイクル過程で無害化される。もし全クロメートが土壌中へ溶出すると仮定したとしても、その毒性影響度は全体の1/20に過ぎない。

(3) 枯渇性資源消費

資源枯渇への影響度は、資源消費量の当該資源の総量に対する割合で測る。図4によれば、鋼材は木材の1/4程度の影響度である。木材では北米の天然林及び老齢二次林の消費による影響度が殆どである。一方、鋼材では98%までが亜鉛鉱物の消費に起因している。

本結果の問題点としては、森林資源と鉱物資源の枯渇を同列に扱えるかの点にある。枯渇性の森林資源である天然林は数世紀後に再生し得るが、枯渇性の鉱物資源が数世紀程度の時間で再生することはない。一方、天然林の破壊は生態系の破壊や生物資源多様性の低下など二次的な影響は大きい、鉱物資源は他資源による代替の可能性が高く、二次的な影響範囲は限られている。森林伐採の問題を枯渇性資源消費に集約したが、フェアで客観性が高いかどうかははまだ議論の分かれるところではある。

(4) エネルギー消費

図5は鋼材のエネルギー消費が木材の1/3程度であることを示している。LCA評価におけるリサイクルの取扱いルールは現在定まっていないが、ここではリサイクル時のエネルギー回収(廃木材の燃料としての利用、鋼材の再生)をエネルギー利得とし、材料製造エネルギーから差し引いた値を正味のエネルギー消費と

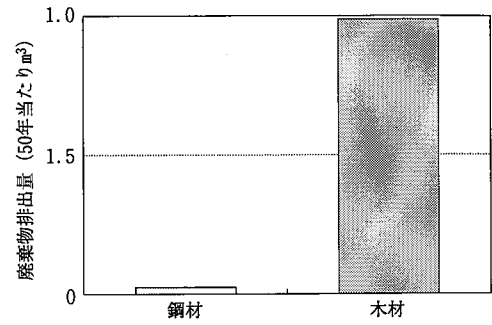


図2 廃棄物排出の影響度比較評価

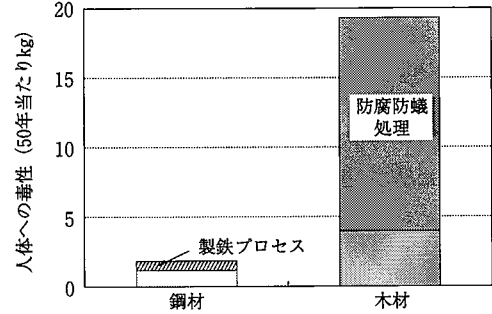


図3 人体の毒性の影響度比較評価

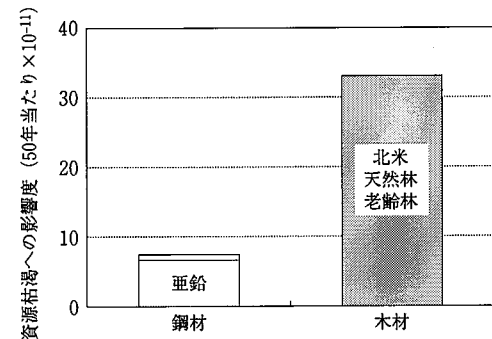


図4 資源枯渇への影響度比較評価

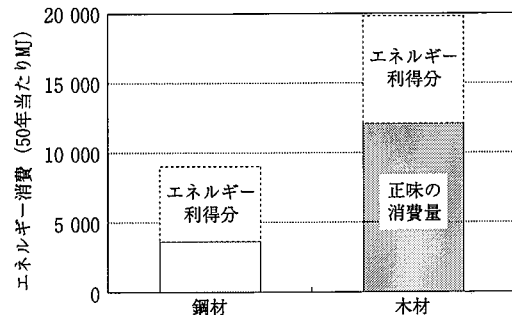


図5 エネルギー消費への影響度比較評価

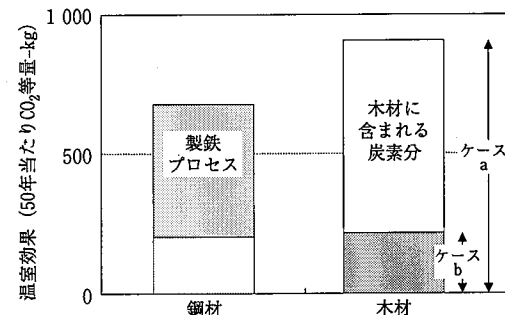


図6 地球温暖化への影響度比較評価

した。また、鋼材は高炉製品とし、高炉製品よりエネルギー消費の小さな電炉製品として再生されるとして、その時のエネルギー差を利得と見なしている。

本評価では、木材は燃料としてリサイクルされているので、木材の熱量もエネルギーとみなした。但し、木材の発熱量をエネルギー消費に含めるかどうかは世界的にも議論が分かれている。ちなみに、プラスチック製品についての同様の議論では、原料となるナフサの発熱量が通常はエネルギー消費量と見なされている。

(5) 温室効果

地球温暖化への影響度を比較したのが図6である。ここでは、木材に含まれる炭素由来のCO<sub>2</sub>排出量を算入した場合(ケースa)としない場合(ケースb)の2ケースで比較している。前者の場合、鋼材と木材の影響度はそれぞれ680kg, 899kgとなり、後者の場合、それぞれ680kg, 212kgとなる。単位はCO<sub>2</sub>等量kgで、全ての温室効果ガスの影響度をCO<sub>2</sub>の影響度に換算している。

木材のCO<sub>2</sub>排出量の考え方も見解の分かれるところである。ケースaは、“森林のCO<sub>2</sub>吸収は特に自然の作用であり、伐採によって最終的にCO<sub>2</sub>を放出するプロセスのみが人間の活動に起因している。また、特に成熟した森林はCO<sub>2</sub>固定能を持っておらず、伐採することはCO<sub>2</sub>を排出することと等価である”との考え方を拠り所としている。一方ケースbは、木材はCO<sub>2</sub>を固定化して得られたものであり、最終的に焼却や腐朽によってCO<sub>2</sub>が放出されたとしても収支はゼロになるとの考え方である。現段階では、どちらのケースが客観的に正しいと言うことは出来ない。

3.3 まとめ

以上、構造部材の材料の違いに起因する環境影響度の違いについて評価した。影響度として比較した5項目については、全項目で木材より鋼材の方が優れている結果となった。これは、“リサイクル性が高い”、“日本の気候条件でも腐敗しない”、“森林を破壊しない”そして“寿命が長い”等、鋼材の優れた環境性能が評価に正しく反映されているからと考えられる。

4. 省エネルギー

省エネルギーの観点では断熱性能が重要となる。住宅金融公庫では、省エネルギーを融資金利の優遇条件の一つとしており、また現在、さらに高レベルの“次世代省エネルギー”の導入が検討されるなど、断熱性能の重要性はますます大きくなっている。住宅内からの熱損失は様々な部分から発生する。例えば、全く断熱を施さない住宅では、窓やドアなどの開口部以外から全体の約70%もの熱が損失すると言われている<sup>12)</sup>。このことは、壁、床、屋根を構成する住宅構造そのものの高断熱化が重要な課題であることを示している。

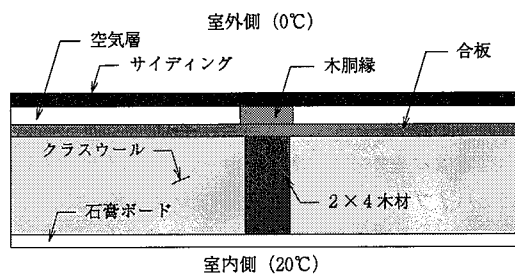
スチールハウスは2×4を基本としており、在来木造住宅などと比較すると壁等で密閉された空間を構成することから、構法的に高断熱、高气密となる。実際に木造2×4、スチールハウスとも北米の寒冷地で発生、普及してきた構法で、本来、省エネルギー住宅を目指したものである。

しかしながら鋼材は、熱伝導率が木材の300~400倍にもなることから、形鋼からの熱損失に配慮した設計が必要となる。

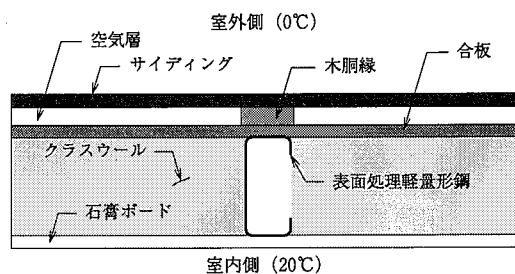
図7(a),(b)に、典型的なツーパイフォアの壁の熱伝導解析結果(温度分布)を示す。解析条件は、室内側20℃、室外側0℃とした。断熱方法は、壁の内部に断熱材を挿入した“充填断熱”である。ここ

で図7(a)は木材を、図7(b)はめっき鋼板の形鋼を構造材としている。図7(b)から、形鋼を通じて室外の冷気が室内に流れ込んでいる様子が明瞭に分かる。この現象は熱橋(あるいは冷橋)と呼ばれ、これにより熱損失が発生する。

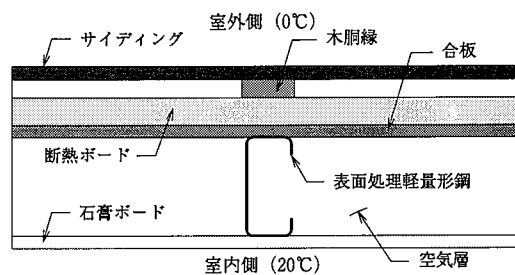
スチールハウスは、その解決方法として“外張断熱”を採用している<sup>13,14)</sup>。外張断熱は、壁の外側に断熱ボード等を設置することで熱の流出入を抑制することができる。図7(c)に外張断熱の壁の解析結果を示す。形鋼からの熱橋が大幅に抑制されている。また、外張断熱とすることで壁体内結露を抑制できる。図7(a)から明らかなよ



(a) 木造ツーパイフォー充填断熱のケース



(b) スチールハウス充填断熱のケース



(c) スチールハウス外断熱のケース

図7 外壁の断熱特性の解析結果

うに、充填断熱の壁体内部温度は、構造材が木材でも、外張断熱(図7(c))より低温となることから結露が発生しやすくなり、骨組みの耐久性を低下させることとなる。

このようにスチールハウスは、外張断熱を採用することで省エネルギーに加えて耐久性の向上も図っている。

## 5. 結 言

以上、スチールハウスの開発で環境に関連するものをあげ、概括した。アメリカではスチールハウスが戸建住宅の1割に達していることから、カナダの製材業界が危機感を抱き、木造住宅とスチールハウスの環境負荷の研究(アテナプロジェクト, Athena Project)<sup>15)</sup>を実施している。また、木材の一大輸入国である我が国においては和訳したパンフレット<sup>16)</sup>を作成し、工務店に配布するなど本分野でも競合業界との軋轢が始まっている。

新日本製鐵は木造2×4住宅メーカーと、“木材と鋼材を適材適所に用いたハイブリッド工法”の共同開発<sup>17)</sup>も実施しており、鋼材の利点のみを取り上げるものではないが、環境対応は必須であることから今後とも総合的に研究を進める必要がある。

### 参考文献

- 1) 作本好文：サステイナブルスチール会議報告. 鋼材倶楽部“情報”, (917), (1998-5)
- 2) 2×4の積算. 建築知識. (1996-6)
- 3) 松本雅充, 野村広正 ほか：スチールハウスの諸性能に関する研究その14, モニターハウスにおける耐久性試験. 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1998-9
- 4) 本田和彦, 野村広正：スチールハウスの腐食環境と耐久性. 新日鉄技報. (369), 28(1998)
- 5) Heijungs, R. et al. : Environmental Life Cycle Assessment of Products. 1992
- 6) 例えば, OECD: Energy Balance of OECD Countries 1991-1992. 1994; Swiss Federal Office of Environment, Forests and Landscape: ECOBALANCE of Packaging Materials State of 1990. 1991など
- 7) PRe Consultants: SimaPro 3.0
- 8) Richter, K. : Proc. Wash. State Univ. Int. Part. Compos. Mater. Symp. 27, 1993, p.179
- 9) Food and Agriculture Organization of the United Nations: the Forest Resource of the Temperate Zones, 1992
- 10) 日本環境衛生センター：産業廃棄物処理業者に関する新規許可講習会テキスト. 1990
- 11) Brimacombe, L. : Proceedings of the Third International Conference on Eco Balance. 1998, p.401
- 12) 三島俊介：住宅業界. こう書房, 1998, p.81
- 13) 砂川 ほか：スチールハウスの構造・耐久性・断熱性に関する研究. 日本建築学会学術講演梗概集, 環境工学II. 1998, p.13-14
- 14) 須田敬之, 菅野良一 ほか：スチールハウスの断熱性能に関する研究. 新日鉄技報. (369), 34(1998)
- 15) A Case Study “Comparing the Environmental Effects of Building Systems”. Canadian Wood Council
- 16) 環境負荷/断熱/コスト, 優位性を実証した木造住宅. カナダ林産業審議会 (Council of Forest Industries Canada)
- 17) 平川智久, 須田敬之, 村橋善満：木材と薄板鋼板のハイブリッド化による新住宅構法の開発—木とスチールのそれぞれの長を活かした混合構造化の提案—. 新日鉄技報. (369), 40(1998)