

木造建築とスチール造建築、鉄筋コンクリート造建築を比較

木造建築 のススメ

いま最善の住宅は、木造建築です。

Canadian Wood World

カナダ西部を南北に縦貫する
大山脈カナディアン・ロッキーを
挟んで位置する、ブリティッシュ
ユコンビア州とアルバータ州
は、世界有数の針葉樹資源に
恵まれています。

そして、それらの森林は、厳し
い保続生産管理体制で、長期
計画的に守られています。伐
採量を生長量の範囲内にお
さめ、大切な資源を次世代に
継承することを基本とするこ
の制度は、伐採が及ぼす環境
への影響や地域経済に果たす
役割、さらに林産業の現状な
ど、さまざまな要因を総合的
に検討し、年間許容伐採量を
算出。林産企業は、このガイド
ラインをベースに、伐採、搬出、
再植林などの計画を事前に
提出し、精査を受けたのち、
その計画に沿って活動してい
ます。



Council of
Forest Industries
Canada



断熱材

木材は、熱を伝えにくい

冷暖房に使用されるエネルギー消費が、環境に対して大きな影響力をもつことが明らかになって以来、建築物の断熱性能向上は、エネルギー消費の低減に大きな役割を果たすものとして注目されています。

1990年代に入り、米国やカナダは、建築物のエネルギー使用を最小限にとどめることを目的に、建物外壁の断熱施工と設備システムのエネルギー効率を定め、住宅エネルギー規準を設定しました。冷暖房時のエネルギー使用は、建物の外壁の断熱性能の影響を強く受けるため、すべての建築資材の断熱性能が算定されています。そのため、設計者は、構造耐力などに加え、断熱性能を設計の基本条件とし、性能規準を満たす資材を選択することが求められるようになりました。

ここでは、断熱性能の面から木材とスチール材の性能を比較し、ツーバイフォー住宅における違いを明らかにします。



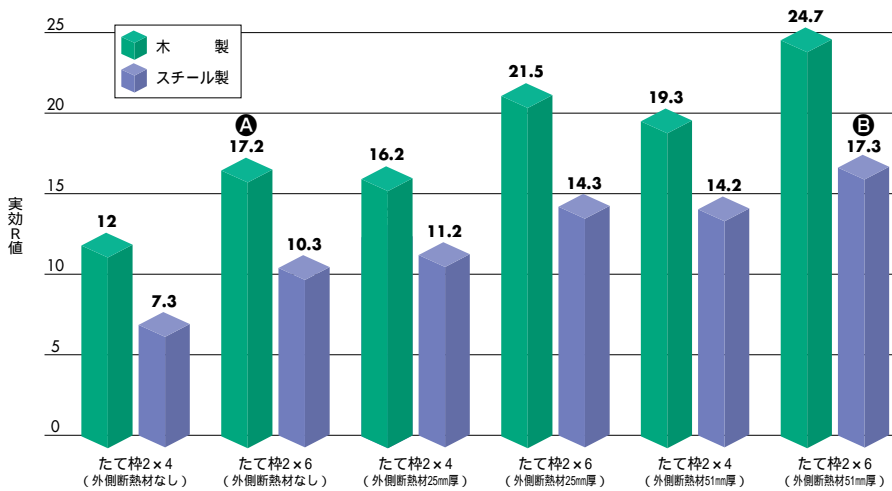
スチール製より、「断熱材51mm分」熱を伝えにくい

米国とカナダの研究機関は、木製たて枠を使った壁とスチール製たて枠を使った壁の実物大モデル（開口部や隅角部などの要素を取り除き、単純化させたもの）により、断熱性能を比較。異なる建築システムの断熱性能を比較できる「実効R値」によると、木製がスチール製に比べ、著しく断熱性能が高いことが判明しました。

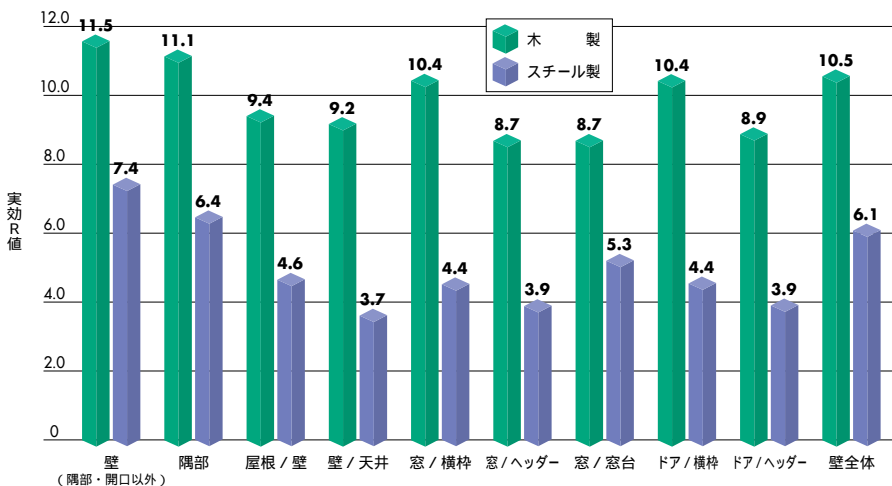
試験結果によれば、木製たて枠2×6の枠組壁の断熱性能(A)(※グラフ参照)をスチール製の枠組壁で実現しようとする、厚さ51mmの発泡樹脂系断熱材を外側に付加する(B)必要があります。

また、壁面の各部位の断熱性能についても、木製たて枠を使った壁がスチール製たて枠を使った壁を大幅に上回っています。

■木製たて枠の壁とスチール製たて枠を使った壁の断熱性能比較



■木製たて枠の壁とスチール製たて枠を使った壁の各部位の断熱性能比較



環境破壊の要因となる発泡樹脂系断熱材が必要なスチールハウス

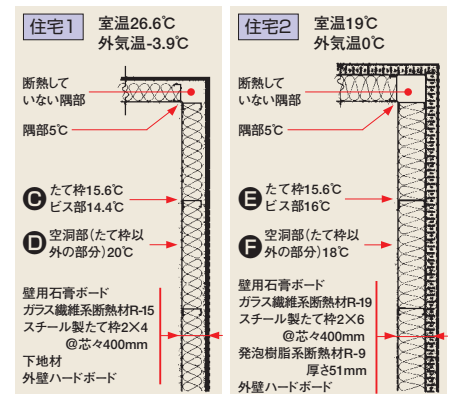
赤外線サーモグラフィを用いて、スチールハウスの壁の室内側表面温度分布を測定した実験報告例によると、通常のスチールハウスの場合、スチールの枠材がある位置の温度(C)(※図参照)が、枠材がない部位(D)よりも、4℃から5℃も低くなっているのに対し、外気側に厚さ51mmの発泡樹脂系断熱材を施工するとその温度差が2℃に減少し(E、F)、発泡樹脂系断熱材がスチール枠材の熱伝導低減に有効であることがわかります。

しかし、木造のツーバイフォー工法の場合は、外気側断熱材がなくても、枠材による表面温度低下は0.5℃から1℃の範囲内であることが、NAHB(全米ホームビルダー協会)の報告などから知られています。

また、スチール枠材がある箇所に筋のようにできる「ゴーストマーク」と呼ばれる室内側仕上げ壁面の汚れをさけるためにも、発泡樹脂系断熱材の外側施工が不可欠です。つまり、木造のツーバイフォー工法と同等の断熱性能を達成するために、スチールハウスは追加のコストを要するのです。さらに、発泡樹脂系断熱材の原料となる化石燃料の消費や、副産物のHCFC(ハイドロクロロフルオロカーボン)がオゾン層を破壊する要因となることも、環境保全の観点から無視できない重要な問題です。

これらの実験室レベルの試験とは別に、実大規模の住宅を使って各種のデータ収集も試みられていますが、総じてスチール製たて枠を使った施工部位の断熱性能は実験室レベルのデータを下回るケースが多く、これらを検証するため、米国の試験機関で実施されたシミュレーション試験では、壁全体としてみると、スチールハウスの実効R値は、木造の場合に比べ、40%以上低いという結果が出ています。

■断熱仕様の異なるスチールハウスの室内側表面温度比較 (サーモグラフィックテストの結果)



*R値の単位は [ft²h/Ftu] で表示され、日本での一般的な熱貫流率 (k値 [kcal/m²h]) との関係は R = 1/4.9k となる。
 *建築物の省エネに関する制度としては、カナダに、National Energy Code for Buildings(建築物に関する全国的なエネルギー法、略称「NECB」)があり、また、合衆国においては、米国建築審議会 (Council of American Building Officials、略称「CABO」) のモデル・エネルギー法 (Model Energy Code) があり、連邦政府の法律では、1992年にエネルギー政策法 (Energy Policy Act) の形で、モデル・エネルギー法が定める最低限の断熱条件に合致するか、またはこの条件を超えるようすべての州法に求めている。

経 済 性

木材は、低コストである

世界でも先進的な住宅工法として知られるツーバイフォー住宅を生んだ北米では、近年、枠組材として木材にかわる素材の開発・研究がすすめられています。その代表例がスチールハウスの開発です。

枠材としてのスチールの使用は、1970年代の初頭から試みられてきましたが、過去いずれも本格的な代替にはつながらず、一時的なブームに終わっています。それにもかかわらず、再びスチールへの関心が高まった背景としては、建設コストや環境保護の面からの利点を指摘する声が高まったことが挙げられます。しかし、木材・鉄鋼両分野の市場構造や1990年代の市場動向を勘案すると、スチールハウスの特性とされるコスト効果は、必ずしも明瞭化されていません。

カナダ木材委員会は、ツーバイフォー住宅における素材間の優位性を検証するため調査を行い、木材とスチールの両素材間でコスト及び技術面で、どのような違いがあるのかを明らかにしました。

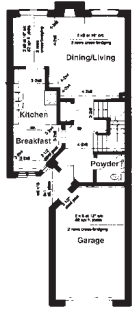


タウンハウス、平屋建て、2階建て住宅でコストを比較

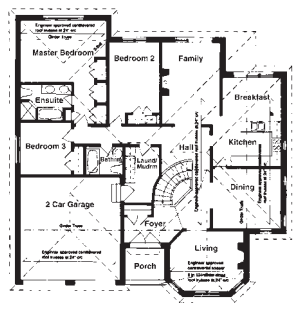
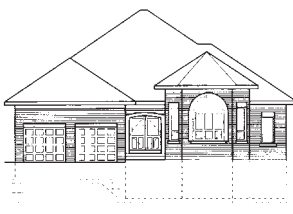
この比較調査の対象となったのは、カナダのトロント近郊に建設された、タウンハウス、平屋建て、2階建ての3棟のモデルハウスです。使用した資材の価格は、木材価格が最も激しく急騰した1994年3月時点のもので、トロント市のある大手ビルダーが入手する際の価格として、木材供給業者4社の木材製品の価格を平均して算出しました。スチールの価格情報は、トロント市でスチール製部材を製造する専門加工業者から入手し、複数の建築業者に面談調査を実施しました。なお、スチールハウスの建設に必要な技術コストは、実際の建築例に応じて複雑に変化するものであるため、今回のコスト比較には含まれていません。

この比較建築の結果、全体的に木造のツーバイフォー住宅がスチールハウスよりも安くなっていることが実証されました。木材価格が急騰した時点での計算にもかかわらず、タウンハウスモデルと2階建てモデルに関しては、木造のツーバイフォー住宅のほうが、スチールハウスに比べ、それぞれ2.8%、5.6%のコストを低減。平屋建てでは、逆にスチールハウスの方が0.3%ながら木造を下回る結果となっています。とくに荷重を受ける部分の多い設計例の場合は、木造のツーバイフォー住宅は強力な市場競争力を持ち、スチールハウスを超える大きなコスト低減効果がみられました。

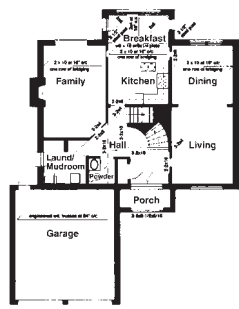
■タウンハウスモデル



■平屋建てモデル



■2階建てモデル



| タウンハウスモデル | 木造コスト | スチール造コスト | 平屋建てモデル | 木造コスト | スチール造コスト | 2階建てモデル | 木造コスト | スチール造コスト |
|-----------------|---------------------|---------------------|-----------------|---------------------|---------------------|-----------------|---------------------|---------------------|
| 敷地工事費 | 2,632 | 2,632 | 敷地工事費 | 5,763 | 5,773 | 敷地工事費 | 3,778 | 3,778 |
| コンクリート(及び型枠)工事費 | 10,062 | 10,062 | コンクリート(及び型枠)工事費 | 19,449 | 19,184 | コンクリート(及び型枠)工事費 | 11,339 | 11,339 |
| 石工事費 | 3,959 | 3,959 | 石工事費 | 11,175 | 11,175 | 石工事費 | 19,307 | 19,307 |
| 金物工事費 | 1,531 ¹ | 11,844 ² | 金物工事費 | 3,008 ¹ | 21,863 ³ | 金物工事費 | 1,313 ¹ | 20,145 ⁴ |
| 大工工事費 | 16,650 ² | 7,710 ³ | 大工工事費 | 32,580 ² | 13,541 ³ | 大工工事費 | 24,747 ² | 11,620 ³ |
| 断熱・防湿工事費 | 3,129 | 3,129 | 断熱・防湿工事費 | 6,795 | 6,795 | 断熱・防湿工事費 | 5,282 | 5,282 |
| ドア・窓工事費 | 5,439 | 5,439 | ドア・窓工事費 | 7,826 | 7,826 | ドア・窓工事費 | 7,208 | 7,208 |
| 仕上げ工事費 | 10,679 ⁵ | 10,532 ⁵ | 仕上げ工事費 | 20,339 ⁵ | 19,759 ⁵ | 仕上げ工事費 | 14,832 ⁵ | 14,424 ⁵ |
| 特殊工事費 | 420 | 420 | 特殊工事費 | 355 | 355 | 特殊工事費 | 880 | 880 |
| 設備工事費 | 8,200 | 8,700 | 設備工事費 | 9,300 | 9,800 | 設備工事費 | 9,000 | 9,500 |
| 電気工事費 | 1,795 | 1,895 | 電気工事費 | 2,328 | 2,478 | 電気工事費 | 2,642 | 2,842 |
| 諸経費@6% | 3,870 | 3,979 | 諸経費@6% | 7,143 | 7,113 | 諸経費@6% | 6,020 | 6,379 |
| 合計 | 68,366 | 70,301 | 合計 | 126,061 | 125,662 | 合計 | 106,348 | 112,704 |
| 木造のコスト優位性 | +2.8% | | 木造のコスト優位性 | -0.3% | | 木造のコスト優位性 | +5.6% | |

注)
 1.木造枠組工事の場合、金物工事は床ジョイント材支持のためのスチール製ビーム材の施工を含む
 2.木造枠組工事の場合、大工工事は木製枠組工事と、下地材、キッチンキャビネット、バスルームキャビネットの施工を含む
 3.スチールハウスの場合、大工工事は木製床材、屋根下地材、キッチンキャビネット、バスルームキャビネットの施工を含む
 4.スチールハウスの場合、金物工事は外装断熱材(1.5インチ厚)の施工を含む
 5.仕上げ工事は、木造、スチールハウスとも壁空洞への断熱材施工を含む

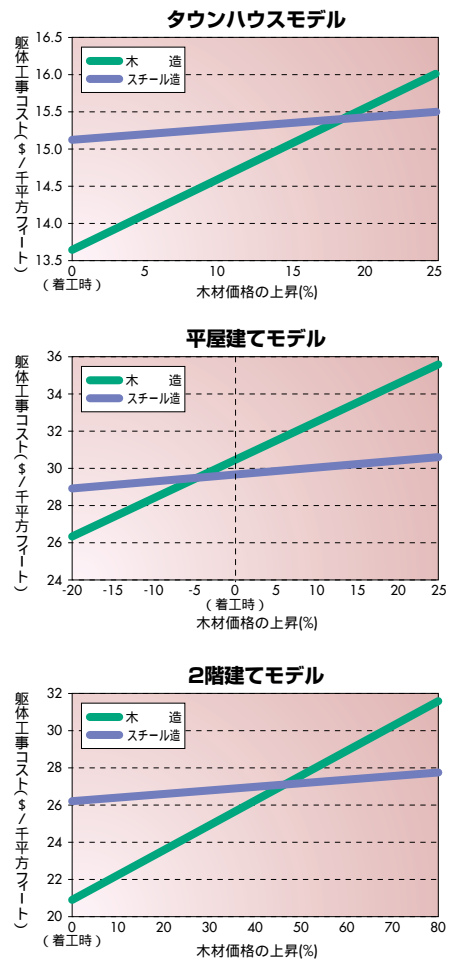
木材価格の影響を加味したコストを比較

今回のコスト比較では、さらに特定のコスト変動係数を使用した研究も併せて行われました。このコスト変動係数を使った分析では、3棟のモデルハウスのそれぞれに対して、より低コストのオプション設計を設定し、一定の変動域のどの位置で木造のツーバイフォー住宅とスチールハウスが同一になるかを決定し、躯体工事に用いる資材コストを調整しました。

この分析の結果によると、平屋建てモデルに関しては、スチール材を使った枠組工事に用いる資材のコストは、5%増加してもよいことになり、逆に耐力部が多いタウンハウスモデルでは木材が18%、2階建てモデルにいたっては木材が45%さらに値上がりするまでは、木造にコストメリットがあるという結果となりました。

今回の調査で対象外とした、スチールハウスの技術設計に必要な費用が割り当てられていたならば、木造のツーバイフォー住宅にさらに多くの優位性が発見されたことでしょう。

■躯体工事コストに及ぼす木材価格の影響



注)
 1.着工時点の価格(百万ボードフィート): 2x4材は600ドル、2x6材は630ドル、2x8材は780ドル、2x10材は870ドル
 2.上図は木製、スチール製ともに全オプションを含むもの
 3.スチール製の場合のオプションによる価格増は下地材、プレート材、受け材によるもの

木材は、人と自然にやさしい

カナダでは、コンピュータによるシミュレーション・モデルで地球環境への影響を定量的に比較分析する「ATHENA™ (アシーナプロジェクト)」が進められました。産学協同のこの事業は、天然資源の採取、資材の生産、建設、建築物の運用、運用後の廃棄という住宅のライフサイクル全般にわたって、住宅が地球環境へ及ぼす影響を調査したものです。

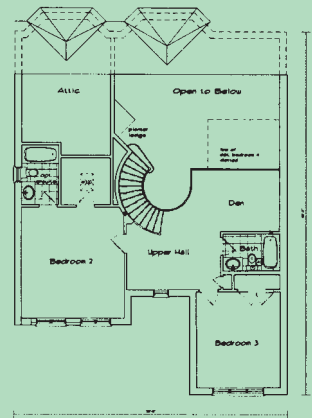
このアシーナプロジェクトでは、3階建てオフィスビルに続いて戸建て住宅に対しても比較研究を行い、その結果を公表しました。オフィスビルで実証された木造建築の環境に対する優位性が一般的な住宅に対しても明瞭な差異をもつことが立証されています。床面積2,400平方フィート(約223m²)というカナダでは一般的な大きさの戸建て住宅を取り上げ、木造・スチール造・コンクリート造という工法の違いによる●総合的なエネルギーの使用量●温室効果ガス●大気汚染●水質汚染●資源としての総消費量などについて紹介します。さらに、日本国内での調査事例として木造(在来軸組工法)224戸、鉄筋コンクリート造477戸、鉄骨プレハブ造177戸のサンプリングをもとにした、住宅構造別の炭素放出量、炭素ストック量の比較についても紹介します。

■モデルになった戸建住宅

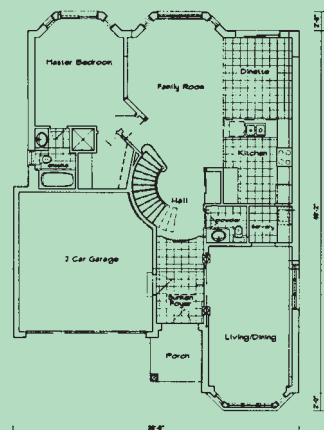
立面図



2階平面図



1階平面図





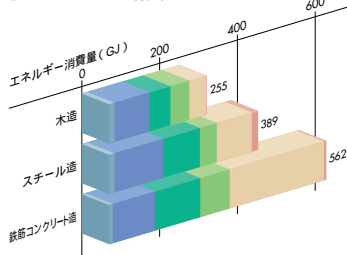
総合的なエネルギー消費量と温室効果ガスの発生について

エネルギー消費量が少ないということは、温室効果ガスやその他の大気汚染物質の放出減少につながり、環境への負荷が少ないといえます。木造建築、スチール造建築、鉄筋コンクリート造建築に使用される建設資材となる資源採取、資材生産、さらに建設、資材輸送の各段階で使用される石油資源の合計を計算しました。

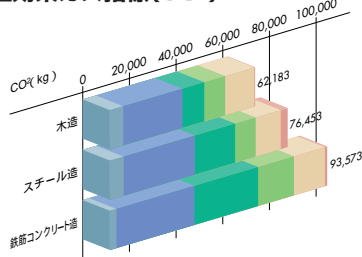
小屋組は3モデルとも木製のトラス仕様となっているため、これを除く部分について比較すると、スチール造は木造の1.5倍、鉄筋コンクリート造は木造の2.2倍のエネルギー消費となります。

また、地球温暖化の原因とされる温室効果ガスの発生については、資材生産の過程におけるエネルギー消費に起因する二酸化炭素、一酸化炭素、窒素酸化物、メタンなど温室効果ガスの発生量を二酸化炭素の放出量に換算して、木造、スチール造、鉄筋コンクリート造の各設計方法で比較しました。その結果スチール造が木造の1.23倍、鉄筋コンクリート造が木造の1.50倍多く温室効果ガスを発生することが明らかになりました。

■総合的なエネルギー消費量



■温室効果ガス指標 (CO₂)



基礎 壁 床 柱・梁 壁体構成材料(柱を除く) 他の資材

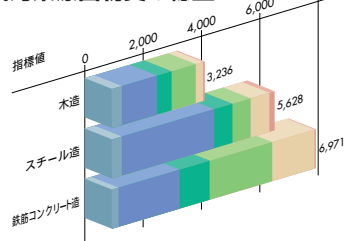
大気汚染、水質汚染、固形廃棄物について

大気汚染に関しては、硫酸酸化物、微粒子浮遊物、一酸化炭素、窒素酸化物、揮発性有機物、フェノール類などの有害物質が、資源ライフサイクルのさまざまな段階で健康にどれだけ悪影響を及ぼすかを比較分析しました。結果はスチール造が木造の1.74倍、鉄筋コンクリート造が木造の2.15倍多く大気汚染物質を発生することが明らかになりました。

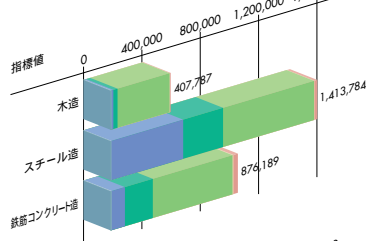
また、水質汚染に関しては、水溶性固形分、芳香族、非鉄金属、金属化合物、硝酸アンモニウム、ハロゲン有機物、塩化物、シアン化物、アルミニウム、油脂、硫酸塩、硫化物、鉄分などの有害汚染物質が環境に与える影響を測定。スチール造が木造の3.47倍、鉄筋コンクリート造が木造の2.15倍多く水質汚染物質を発生することが明らかになりました。スチール造については、鉄鋼の生産過程が水質にかなり大きな悪影響を与えています。

さらに、資材の総量から比較した場合は、スチール造は木造の1.14倍、鉄筋コンクリート造は木造の1.93倍の資源を使っている計算となりました。資源保続あるいは省資源化といった観点からも、木造の有利性が実証されたといえます。なお、建設資材の生産および施工過程で出される固形廃棄物は施工方法に左右され、工業化を進めるほど少なくなるといえます。今回の戸建て住宅の場合スチール造に比べ木造が1.21倍、鉄筋コンクリート造は1.58倍という結果になりました。

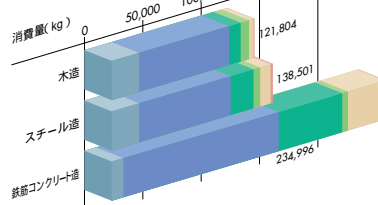
■大気汚染原因物質の総量



■水質汚染原因物質の総量



■資源消費量



炭素放出量と炭素ストックについて

次に日本国内における調査事例を紹介いたします。

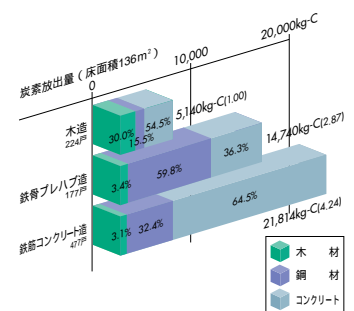
一戸の住宅を構成する各種材料が、製造時に放出する炭素量を比較します (CO₂放出量は炭素量に換算して示されることが多いため)。ここでは住宅一戸の床面積を136m²とし、これに各材料の使用量、さらに各材料の炭素放出原単位をかけて全炭素量を算出しています。

建物の主要構成材料(主に構造材料)となる製材品、合板、鋼材及びコンクリートについて炭素放出量の合計を見ると、鉄骨プレハブ造は木造の2.9倍、鉄筋コンクリート造は4.2倍で、木造住宅は鉄筋コンクリート造、鉄骨プレハブ造に比べてきわめて小さい値となります。ここでも、木造住宅建設が環境への負荷が少ないことが数値で示されています。

また、木材を住宅構成部材に用いると、その住宅が使用されている期間、木材が生育時に大気中から取り込んだ炭素が住宅の中に貯蔵されます。これを炭素ストックと表現します。

1993年度末における日本国内の木造住宅中の炭素ストック量は128,588×10³t、非木造住宅は12,342×10³tで、住宅全体では140,930×10³tでした。一方、1990年3月における日本国内の森林蓄積量は784,395×10³tであり、この値に対して上記の値を用いると、住宅の中にストックされている炭素量は約18%を占めています。このことは、国内の都市に日本の全森林の18%にも及ぶもうひとつの森林が存在していることとなります。また、この住宅の炭素ストック量のうち、木造住宅による分は全体の91%を占め、木造住宅の炭素ストックとしての価値を物語っています。

■住宅1棟(136m²)を構成する主要材料の製造時炭素放出量の構造別比較



(): 木造を1.00としたときの全炭素放出量の比較

<原資料>

1. Canadian Wood Council: WOOD THE RENEWABLE RESOURCE NO.1, 1994 "COST COMPARISON RESIDENTIAL FRAMING"
WOOD THE RENEWABLE RESOURCE NO.2, 1995 "ENVIRONMENTAL EFFECTS OF BUILDING MATERIALS"
WOOD THE RENEWABLE RESOURCE NO.3, 1995 "THE THERMAL PERFORMANCE OF LIGHT-FRAME ASSEMBLIES"
WOOD THE RENEWABLE RESOURCE NO.4, 1997 "A Case Study—COMPARING THE ENVIRONMENTAL EFFECTS OF BUILDING SYSTEMS"
WOOD THE RENEWABLE RESOURCE NO.5, 1999 "A Case Study—LIFE CYCLE ANALYSIS FOR RESIDENTIAL BUILDINGS"
2. 岡崎泰男、大熊幹章: 「炭素ストック、CO₂放出の観点から見た木造住宅建設の評価」 木材工業 Vol.53, No.4, 1998



Canada Wood
Produits de bois canadien

Canada Wood Export Program(CWEP)
カナダ木材製品全般の普及・促進



Forestry Innovation Investment
Forestry Innovation Investment(FII)
BC州森林及び林産業の保護育成を目的とした組織

CANADA  **TSUGA**
E120

Canada Tsuga E120 & E120-F330 certified structural lumber
認定済カナダ・ツガE120 & E120-F330構造材



COFI
Council of
Forest Industries
Canada

カナダ林産業審議会

〒105-0001 東京都港区虎ノ門3-8-27

巴町アネックス2号館9階

TEL.03-5401-0532 FAX.03-5401-0538

www.cofi.or.jp