

特集 持続可能な社会に向けて (6)

木材利用と地球環境

—環境への優しさで見える木材利用②—

服はつ部とり順のぶ昭あき

七 丸太や木質材料の環境影響評価

(一) 国産丸太

我が国で最も充実している原単位データベースとして知られます MICA V2¹¹⁾に搭載の IDEA V2¹²⁾には、丸太として、丸太、あかまつ丸太十くろまつ丸太、ひのき丸太、からまつ丸太、すぎ丸太の五種類が整備されています。化石資源由来のCO₂排出量の多い丸太から並べると、ヒノキ、スギ、マツ、カラマツの順になり、材積当たりの最大値と最小値とで四倍の開きがあります。この四樹種の丸太が生産されるまでに排

出されるCO₂の加重平均値は、約一〇kg-CO₂/m³となっています。何れも総務省が五年毎に発行する財・サービスの産業間取引額を示す産業連関表における物量表や森林・林業統計要覧を基に作成されていますが、データベースを使う立場からすると、どの範囲までの金額、すなわち環境負荷が含まれているかが明確ではないので、注意が必要です。

一方、中野らは、林野庁と環境省の木材利用推進・省エネ省CO₂実証業務でスギ、ヒノキ、カラマツ、トドマツの育苗から丸太生産までのインベントリ調査を行い、国産丸太の原単位を求めました¹²⁾。用いた統計は、都道府県別・樹種別単位森林面積当たりの生産量、重機などの作業別燃料消費量、都道

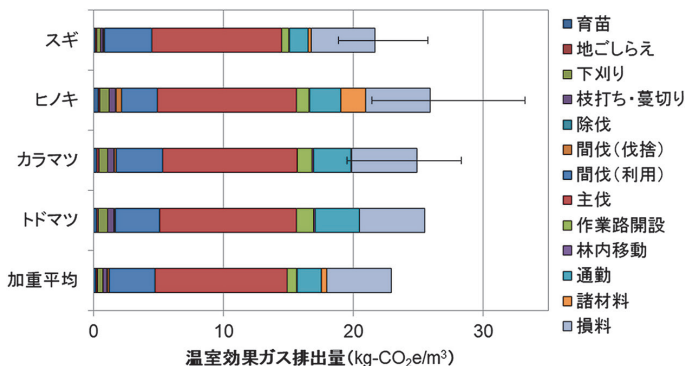


図 6 土場まで搬出された丸太の樹種別環境負荷量^②

元図は英文です、その和訳を図6に示しました。これより、日本の代表的な針葉樹の単位材積当たりの丸太を土場で得るまでに発生した温室効果ガスをCO₂換算（単位の添え字にeが付く）で求めると、ヒノキが最も多く、スギが最も少ないという結果になりました。バーは

府県別機械化率で、地域・樹種・地位・気候等から収穫量が予測できる森林総合研究所で開発されたLYCSというエクセルのマクロ（自動実行される一連の計算操作）で組まれた収穫表作成ソフトなどを活用し、伐出を架線系集材と車両系集材に大別して計算しています。

我が国で使える前出のIDEA V2にはJAS製品が含まれる製品として、製材では、一般製材品、特殊製材品、その他の製材品という項目しか無く、針葉樹と広葉樹別の区別もされていません。集成材は一種類のみ、合板は、合板、普通合板、特殊合板の原単位が提供されています。何れの原単位も、LCAの標準手法である積み上げ法ではなく、産業連関表と各種の統計データを用いて作成されています。製品名も総務省の日本標準商品分類コードに則って分類されていることから、知りたい製品がどの分類に属するかは連関表に付属の部門別品目別国内生産額表を用いて見極めなければなりません。産業連関表を用いた代表的な原単位データベースは、国立環境研究所が開発・公表している3EID^④で、三九七部門に投入・消費された原燃料別に排出原単位を乗じて、CO₂やN₂Oな

都道府県別の最大値と最小値を現していますが、トドマツの産地は一つなので、バーはありません。これら四樹種の加重平均値は二三・五kgCO₂e/m³でした。内訳では、主伐時の排出が全体の四割強、集運材機械の製造・修理が二割強、利用間伐による排出が二割弱となっています。この評価では作業者の林地までの通勤と林内移動も含まれていますので、他のデータと比べる時にはその違いを調整する必要があります。

(二) 木材のJAS製品

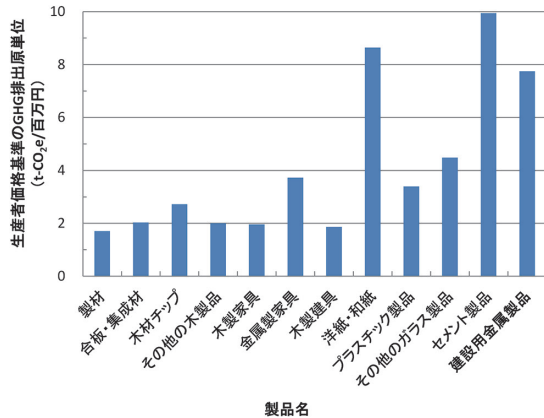


図 7 3EID に掲載の購入者価格基準で見た木材製品などの温室効果ガス排出原単位¹⁾

材料に比べて大凡どの程度なのか見ておきたいので、製品購入者の購入額一〇〇万円当たりの温室効果ガス排出原単位を求め図 7 に示します。この原単位は、製品毎に排出する七種の温室効果ガスを IPCC が採用している温暖化係数の一〇〇年値を用いて CO₂ に換算し合算した値です。単位が m²ではなく、百万円当たりで示されていること、製品名は代表的な製品で示されていますが、類似の多くの製品が含まれているこ

ど七種類の温室効果ガスの排出量を求めています。こ

こでも、金属

やプラスチック

クなどの工業

材料に比べる

と、木材製品

の原単位の貧

弱さは目立ち

ます。

とは言い、

木材製品の環

境負荷が他の

製品購入

者の購入額

と、生産拠点から購入者に届くまでの輸送や商社といった間接的な排出量も含まれていること、単価の低い製品ほど取引量が多くなり、その量で温室効果ガス排出量を除することから、製品当たりの排出原単位は相対的に小さくなることといった統計上の乖離も含まれていますので、利用には注意が必要です。

(三) 木材の J I S 製品

代表的な製品は木質ボード（繊維板）です。IDEA V2 では、繊維板、硬質繊維板、中質繊維板、その他の繊維板という項目で原単位が整備されていて、製材に比べると、少し充実していますが、いずれも産業連関法などによって求められたものです。

筆者等は、日本繊維板工業会から、その環境宣言に則って、取扱い製品の LCA を二〇〇五年に依頼されました。製品毎に国内の生産シェアが五〇%を超える会員企業がインベントリ調査に協力いただけるとのことです。繊維板工業会の中に製品別に LCA 委員会が設置され、製品毎の加重平均と企業別の LCA を求めました。国内で生産される木質ボードの日本平均原単位が世界に先駆けて得られたことから、LCA 学会などに発表してきました¹⁵⁾。協力いただいた企業は、筆者から戻された日本平均と自社の結果を比較することで自社製品の

表 2 木質ボードの日本平均環境負荷量^⑬

影響領域	影響評価手法	単位	パーティクル ボード	ハード ボード	MDF	イシユレー ションボード
気候変動	100a (IPCC2013)	kg CO ₂ e	4.44E+02	3.31E+02	8.50E+02	2.35E+02
資源消費	CML	kg Sbe	4.32E+00	3.18E+00	8.24E+00	2.12E+00
人間毒性 (発がん性)	USEtox	CTUh	1.70E-05	1.35E-05	3.24E-05	8.88E-06
人間毒性 (非発がん性)	USEtox	CTUh	1.55E-04	3.98E-04	2.31E-04	1.28E-04
生態毒性	USEtox	CTUeco	1.64E+03	2.15E+03	2.94E+03	9.36E+02

長所と短所が可視化されたことから、その後の環境負荷低減対策が立て易くなったことと思います。

貴重な結果が得られたので、最新の原単位を用い、ボードから発生するホルムアルデヒドの人間健康への影響も加え、インベントリデータの見直しと再評価を行って、影響評価をしたところ表2のようになりました。^⑬表からは分かりませんが、接着剤から発生するホルムアルデヒドの人間健康への影響は、国産ボードはほぼ全てF☆☆☆☆であったことから、使用中ではなく製造時の影響を表しています。

影響評価を行うには、前号で述べたように、影響領域毎に複数の消費資源や排出物質がありますので、それらの影

響を領域内で一つの数値にまとめる必要があります。しかし、資源や排出物質の影響領域への寄与度は大きく異なることから、影響度の違いを科学的に求めて、係数リストとして整備する必要があります。表2では影響領域毎に信頼性が高いとされている係数リストを用いて、影響評価を行っています。

影響評価に用いた手法（係数リスト）が略号で示されていますが、一〇〇a（IPCC二〇一三）は二〇一三年の気候変動に関する政府間パネルで提示された一〇〇年値、CMLは一九七七年に学部間部局として設立されたライデン大学環境科学センターが求めた係数、USEtoxは一九七二年に国連に設置されたUNEP（国連環境計画）という組織と一九七九年に北米で設立されたSETAC（環境毒物化学学会）という化学物質の毒性を評価する研究者グループの共同のイニシアティブの支援により作成された係数のことです。影響領域内に複数ある排出物質の総影響量を求めるには、これらの係数を物質毎の排出量に乗じて、影響領域毎の代表物質に換算します。表2の単位は、気候変動ではCO₂に、資源消費ではアンチモン（Sb）に、毒性については、単位量の化学物質が人体又は生態に累積して及ぼす罹患率又は生物個体数の半数が影響を受ける種数の相対値に換算した値を意味し、それを示すために単位の最後に添え字のeを付けています。LCAでは、小さな値でも影響量が大きい場合がしばしばあること、

大きな値から小さな値まで表示すべき範囲が大きいことから、有効数字の桁数を揃えるために、影響量を一般に指数表記で示します。例えば、 $4.44E+02$ や $1.55E-04$ は 444×10^2 や 1.55×10^{-4} のことで、通常表記では444や0.000155となります。

八 建物の環境影響評価

(一) 戸建住宅

我が国の伝統的な戸建て住宅は、在来構法とも言われる木造（W造）の軸組構法です。戸建て住宅の構法は他にも、鉄骨造（S造）や鉄筋コンクリート造（RC造）があります。W造は住む人や環境に優しいと言われ、建築学会が発行する「建物のLCA指針」^⑬を用い、前号で解説した「LIFE2」を用いて建物の床面積当たりの潜在被害額を求めたところ、図8のようにになりました。これにより、産業連関法ではあるものの、木造住宅は鉄骨（S）や鉄筋コンクリート（RC）を用いた住宅より二〜三割環境負荷が小さいこと、それらの内訳で地球温暖化と都市域大気汚染への影響が、構法によって少し違いますが、それぞれ五割弱あることが分かります。ただ、産業連関法の部門が異なることから、住宅の生涯における環境負荷の六〜七割を占め

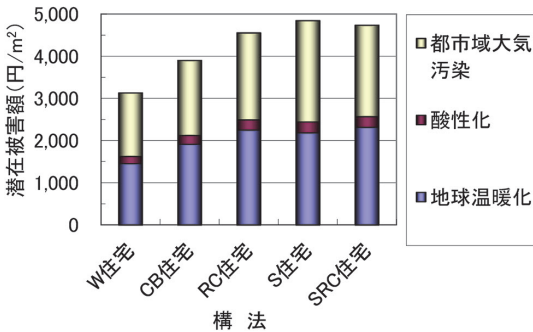


図8 住宅の構法別環境負荷⑦

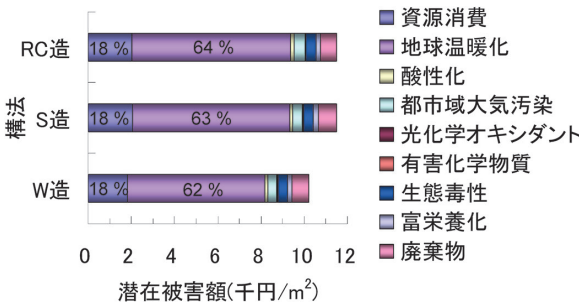


図9 戸建て住宅の構法別環境負荷⑩

ると言われる居住による環境負荷は含まれていないので、比較の際には注意が必要です。ここで、SRCは鉄骨・鉄筋コンクリート造、CBはコンクリートブロック造のことです。このように、産業連関法では産業部門間の財・サービスの流れを物量に換算して、環境負荷を評価する手法ですので、日本平均の評価が出来るものの、物価が変動すると環境負荷も

変動することになるという短所もあるので、ISOやJISでは積み上げ法を採用しています。よって、構法の違いを知るには、積み上げ法で評価しなければなりません、機能単位を合わせることが難しいことと評価作業が膨大になることから、ほとんど行われていません。

大和田らは建築の環境を総合的に評価するツールであるC A S B E Eに示されている標準モデル住宅¹⁹⁾について、異なる三構法の図面と仕上表から使われている材料の種類と使用量を積算し、使われている部材の寿命も考慮して、使用年数を五〇年と設定して、L C A評価を行いました²⁰⁾。

投入部材や廃棄物の輸送、新築や解体工事、居住による環境負荷など仮定がいくつか置かれていますが、床面積当たりの環境負荷を前号で説明の潜在被害額¹⁸⁾で求めたところ、図9のようになりました。

構法別では、W造はRC造やS造より一割程度環境負荷が低いこと、各構法とも居住に影響される地球温暖化が六割強と最も大きいこと、新築とリフォームで用いる部材製造に使われる資源消費も二割弱あること、リフォームと解体時に生じる廃棄物の影響も一割程度あることが分かりました。

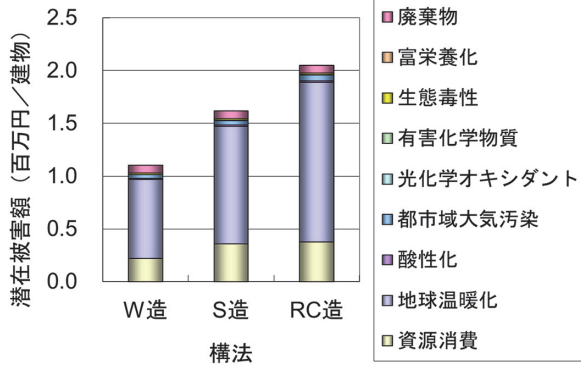
最近の建物は高気密・高断熱仕様が一般的になっていること、また建物の生涯に渡って排出するCO₂量を見かけ上でマイナスにするための太陽電池などの自然エネルギーが得られる

設備を新築時から供える場合が増えていることから、居住中の温室効果ガス排出量が減る傾向にあります。そうになると、新築やリフォーム、解体時の環境負荷が相対的に目立つことになりますので、居住以外の工程における環境負荷低減に結びつく技術開発の重要性が増してきます。

(二) オフィスビル

戸建て木造住宅の市場は縮小傾向にありますので、新たな木造建築の市場を開拓しなければなりません。その一つが、都会の一般的な建物であるオフィスビルや商業施設などの木造化です。筆者らは、林業の成長産業化における最重要樹種であるスギだけで耐火一時間の集成材を開発してきました²¹⁾。

開発したスギ耐火集成材は鹿島建設によってF R ウッド[®]として商標登録され、国土交通大臣の認定もおりています。改良仕様も認定され、既に三棟が、混構造も含めて建設されています。現在は、耐火二時間の集成材を開発中です。その構造は図11に示しますが、ラミナ（集成材用の挽き板、厚さ三〇mmを採用）にレーザかドリルで直径二mm以下の貫通穴を八〇〇個／㎡の密度であけ（インサイジングという）、ポリリン酸という難燃薬剤を所定量注入しています。二枚重ねて燃え止まり部を形成していることから、環境負荷が懸念されました。そこで、機能単位を揃えて、S造とRC造の建物に比

図 10 構法別オフィスビル 1 棟の環境負荷⁽²²⁾

た。耐火集成材については、インサイジングや難燃薬剤の環境負荷も含まれています。

評価できたオフィスビル一棟の躯体に使われた部材の全環境負荷を、潜在被害額と言われる日本円で示すと図10のようになりました。耐火集成材造（W造）のオフィスビルはS造の約七割、RC造の約五割の潜在被害額となり、難燃処理ラ

べてどの程度環境負荷が低いのかLCAにより評価しました。⁽²²⁾ 揃えた機能単位は建築面積（五〇六・八八㎡）、階層（三階）、階高（三・八m）で、屋根、床、外壁はそれぞれの構法に適した設計にしています。試設計は鹿島デザインで、基礎と躯体、階段に使われた木材、鉄骨、鉄筋コンクリートの使用量で評価しました。

ミナを用いた耐火集成材造のオフィスビルであっても環境にかなり優しい建物であることが分かりました。ただ、耐火集成材でも石膏ボードやモルタルを用いると、環境負荷がどれほどになるかは分かりません。各構法とも全体の約七割が化石資源由来の地球温暖化に、約二割が石炭消費という資源消費に、五％程度が廃棄物処理にそれぞれ影響していることが分かりました。

九 都会の木造化

(一) 木材利用のこれから超えなければならない耐火規制

二〇一七年の新設住宅着工戸数は、約九六万戸でした。我が国の人口減少と高齢化、住宅の高寿命化により、二〇三〇年の戸数は約五五万戸になるという予測もあります。⁽²³⁾ 予測が当たれば、住宅市場は一三年後に四割縮小することになります。住宅や資材メーカはそれまでに、①四割が淘汰される、②減少分を輸出で賄う、③非戸建て住宅分野に販路を拡げるといったシナリオが考えられます。①のシナリオになると、林業も同規模で縮小しますので、日本再興戦略にある林業の成長産業化は困難になります。従って、向かうべきは②や③になります。

集合住宅やオフィスビルといった非木造の建築物は、都会



図 11 国土交通大臣の認定を受けている耐火集成材の例

に多く建てられています。その様な地域は防火上の観点から、都市計画法で防火地域や準防火地域に指定されています。建築基準法は、その様な地域には建物の延べ床面積と階層で決まる火災に対する性能を持った耐火建築物か準耐火建築物しか建てられないよう厳しく規制しています。

(二) 耐火部材の現状

耐火集成材として使える構造材は大別して四種類ありますが、その内の一つは荷重支持部が鉄骨ですので、それを除いた荷重支持部が木材である耐火集成材は今のところ図11の三種類になります。荷重支持部は何れもJASの集成材で、その外側に火災の熱から荷重支持部の燃焼を防ぐ被覆部があります。この被覆部には、複数枚の強化石膏ボードで覆う(図11のa)、モルタル板や流し込んだ石膏で概ね覆う(図11のb)、インサイジングを施して難燃薬剤を注入したラミナで覆う(図11のc)タイプなどがあります。この内、図からも分かるように、木材だけで構成されている耐火集成材はcだけです。

建設棟数はaが最も多く、それよりかなり少なくてb、cの順になります。被覆部にはこれからも様々な方式が出てくると思われます。

一〇 木材利用の意義は

木材は他の建築材料に比べて材料生産までの環境負荷が低いことを認識いただけたと思います。再生産が容易で、材料自体に大気中のCO₂をCとして貯蔵している材料であることも知られています。ただ、その貯蔵量と材料生産までに排出した化石資源由来のCO₂を相殺して環境に優しい材料であると主張するケースがまま見られますが、原材料調達から廃棄までに製品が発生するCO₂と貯蔵されているCは、廃棄時のダブルカウントを避けるために、分けて捉えなければなりません。その上で、木材製品のこの長所を生かした利用を推進するほ

ます。性能やコストも競合他材料に比べて優っていれば、申し分の無い材料となり、木材利用の大きな意義が見出されます。

注

- (11) LCAソフトウェアMilCA V2：産業環境管理協会、URL <http://www.milca-milcanet/index.php>
- (12) K. Nakano, N. Shibahara, T. Nakai, K. Shintani, H. Komata, M. Iwazaka, N. Hattori*: Greenhouse gas emissions from round wood production in Japan, Journal of Cleaner Production, 165: 1664 (2017)
- (13) 森林総合研究所：収獲表作成システムLYCS 3.3* URL <http://www2.ffpri.affrc.go.jp/labs/LYCS/>
- (14) 南斉規介：産業連関表による環境負荷原単位データブック (3EID) (二〇一八) 国立研究開発法人国立環境研究所、<http://www.ger.nies.go.jp/publications/report/d031/index.html>
- (15) 寺島敏、加藤慶子、服部順昭、姫野富幸 (二〇〇七) パーティクルボードのインベントリ分析、「第二回日本LCA学会研究発表会講演要旨集」八二一八三
- (16) Katsuyuki Nakano, Keisuke Ando, Mitsuo Takigawa, Nobuaki Hattori: Life cycle assessment of wood-based boards produced in Japan and impact of formaldehyde emissions during the use stage, The International Journal of Life Cycle Assessment, 23 (4),

967-969 (2018)

- (17) 日本建築学会 (二〇一三)『建物のLCA指針 温暖化・資源消費・廃棄物対策のための評価ツール 改訂版』
- (18) 服部順昭 (二〇一八) 木材利用と地球環境―環境への優しさで見る木材利用①、『山林』一六一、一一二〇
- (19) 建築環境・省エネルギー機構 (二〇一〇) CASBEE戸建(新築)の解説・資料PartⅢ、二二七―三三八
- (20) 大和田拓馬、掛上恭、服部順昭 (二〇一四) 戸建住宅のライフサイクルアセスメント―木造、鉄骨造、鉄筋コンクリート造の建物比較、「第九回日本LCA学会研究発表会講演要旨集」、一八一―九
- (21) 服部順昭、安藤恵介、原田寿郎、宮林正幸、塩崎征男 (二〇〇六) 耐火集成材、特許第4958098号 (P 4958098)、出願日：平成十八年七月二十八日
- (22) 大林秀稔、森田雅、安藤恵介、服部順昭、上川大輔、原田寿郎、宮林正幸、抱憲誓、西村光太、宮本圭一 (二〇一) 構造用耐火集成材の環境影響評価、「第六一回日本木材学会大会要旨集」、一七二
- (23) 野村総合研究所 (二〇一七) 二〇一七年度版 二〇三〇年の住宅市場―空き家率の抑制に向けて、早急な仕組みづくりが必要、第二五四回NRIメディアフォーラム、URL <https://www.nri.com.jp/event/mediaforum/2017/pdf/forum254.pdf> (東京農工大学名誉教授)