その10

建築材料から見た木材の省エネルギー

北海道立総合研究機構 森林研究本部 林産試験場 主査 古俣 寛隆

地球温暖化の抑制と木材利用

ＩＰＣＣ（気候変動に関する政府間パネル）が設立されたのは１９８８年であるから、国際的に地球温暖化問題が取り上げられるようになって30年以上が経過していることになる。地球温暖化の抑制に対して木材利用が果たす役割は以下の三つ、①伐採木材製品の長期利用による二酸化炭素の固定、そして、②化石燃料との代替および③エネルギー集約的資材との代替による二酸化炭素排出量の削減である。①は、建築物や家具等の使用期間が長い最終製品に木材を利用することで炭素を長期間固定するものである。②は、木材燃焼による炭素は大気中の炭素の増減に影響を与えないという概念（カーボンニュートラルの概念）を利用して化石燃料との代替を図り、二酸化炭素排出量を削減するものである。③は、鉄やコンクリート等の資材と比較して製造・加工に要するエネルギーが少ない木材製品とそれらとを代替利用することによって二酸化炭素排出量を削減するものである。木材は、比強度（単位重量当たりの強度）が大きいこと、質感・色調等が多様で機能性・デザイン性に優れること、現場加工が容易であること等から建築材料に適しており、製材、集成材、合板、繊維板等様々な種類の木質材料が建築物の構造材、内外装材として用いられている。

生物資源である木材が地球温暖化防止に寄与するためには、森林が劣化することなく持続的に循環利用されていることが大前提である。それが実現できない場合、木材の持つカーボンニュートラルの概念は崩れ、枯渇性資源である化石燃料と同じように木材の燃焼時の二酸化炭素排出をカウントしなくてはならないだろう。ＳＤＧｓ（持続可能な開発目標）に掲げられている17の目標を見た時、森林づくりや木材利用が大部分の目標に関与していることに気付かされる。森林と木材の利用は、地球環境だけでなく経済および社会に果たす役割も大きいということを認識しながら、持続的な利用に向けた様々な取り組みを進めていく必要がある。

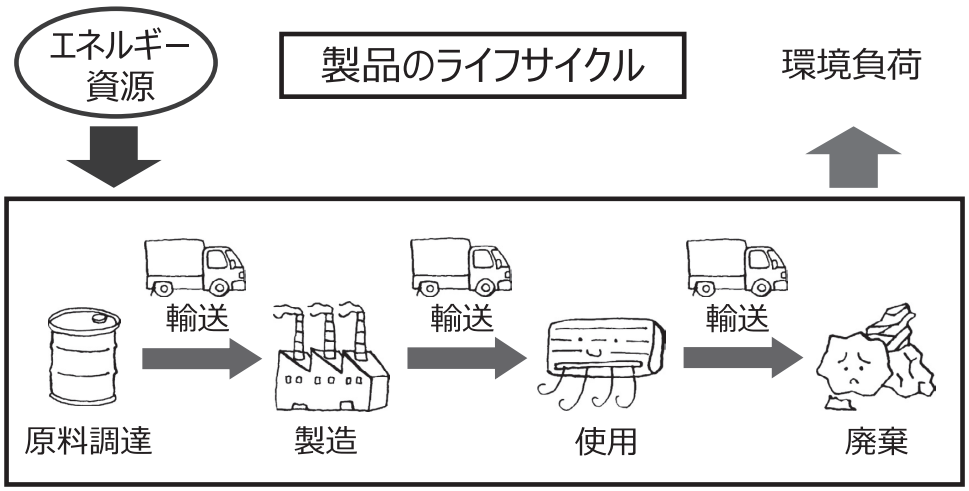
本稿では、前述③の「木材製品のエネルギー集約的資材との代替による二酸化炭素排出量の削減」に関して、建築材料に焦点を当てて評価方法や排出量等を具体的に示しながら木材利用の意義と課題について述べてみたい。

製品等の環境負荷や環境影響を評価する「ライフサイクルアセスメント」

製品等の環境負荷を評価する手法の一つにライフサイクルアセスメント（以下、ＬＣＡ）がある。ＬＣＡは、原料調達から製造、使用、廃棄に至る製品等の一生（ライフサイクル）において、エネルギー・資源の投入量と環境負荷物質の排出量を求め、地球温暖化等の環境に対する様々な影響（環境影響）を分析する手法である（図１）。投入量と排出量の算定プロセスはインベントリ分析と呼ばれ、そこで用いる環境負荷の原単位には、通常、国内外のデータベースが利用される。この原単位には、各工程の積み上げにより環境負荷を算定する「積み上げ法」と産業連関表という統計表を利用する「産業連関法」の2種類があり、それぞれに長所と短所がある。日本建築学会は、建築物に対するＬＣＡの必要性を認識し、20年以上も前から産業連関法による原単位データベースの整備ならびにそれを利用した評価手法の実用化を進めてきた。産業連関法には、国内の製品部門が網羅されていること、各製品部門の評価範囲が統一されていること、各製品部門の環境負荷の平均

値が得られること等の長所がある。最新版は、２００５年の産業連関表を用いた原単位データベース（以下、ＡＩＪＤＡＴＡ）（参考文献１）である。それによると、建築材料の１キログラム当たりの二酸化炭素排出量は、木質材料については、製材が０・４０７キログラム、合板が１・０６６キログラム、木製建具が２・９２１キログラム、木製家具・装備品が５・０９６キログラム等となっている。一方、

図１



注）原料調達から廃棄までの範囲の一部を評価する場合もある

木質以外の材料については、生コンクリートが０・３００キログラム、板ガラスが０・９３２キログラム、普通鋼形鋼が１・３７２キログラム、プラスチック発泡製品が３・２４６キログラム、アルミ圧延製品が９・３６６キログラム等となっている。しかし、この結果のみで各製品の二酸化炭素排出量の優劣を判断することはできない。

機能単位を揃えて製品を比較する

ＬＣＡによって製品の環境負荷を比較する場合には、比較対象システムの同等性が評価されなければならない。これを、分かりやすく説明すると次の通りである。評価を行う製品の主要な機能を定量化したものをＬＣＡの専門用語で「機能単位」という。例えば、自動車の機能単位は、ある走行条件で10万キロメートル走行できる機能、洗濯機の機能単位は、洗濯容量６キログラム、１日１回の洗濯で10年間使用できる機能、等と表現することができる。つまり、この機能単位を揃えないと製品同士の環境負荷を比較することはできないのである。

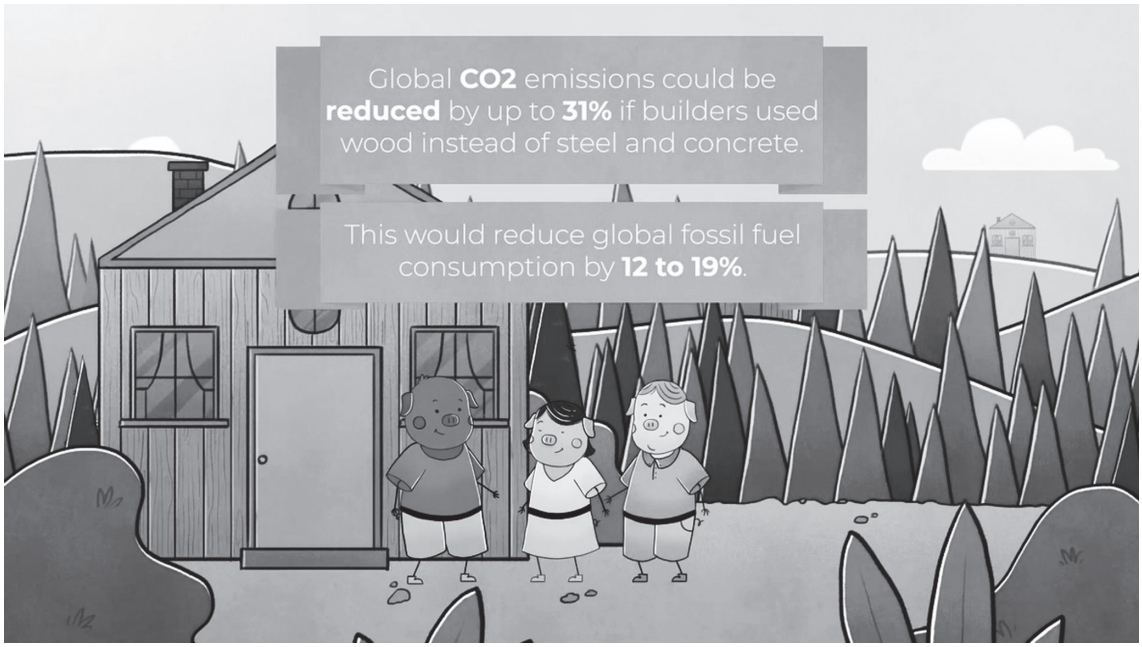
建築材料ではどうなるだろうか？　例えば、鋼製梁と木製梁の機能単位を揃えるには、以下のような手順が考えられる。まず、建築物の設計情報から、スパン、材質・樹種等の基本条件を決定する。次に、使用部位における許容たわみ量、荷重条件から梁の断面サイズ・形状を計算する。最後に、耐用年数の違いを考慮して使用期間における梁の交換回数を設定する（ただし、通常の屋内利用であれば、劣化による交換の可能性は非常に低いため、各梁１本を比較することになるだろう）。以上で、機能単位の揃った重量が決定され、それらに原単位を乗じることで両者の比較が可能になる。前述の通り、木材は比強度が大きいことが特徴である。構造用途の建築材料を想定した時、機能単位を揃えれば、鉄やコンクリートよりも木材の方が軽量になるため、木質材料の二酸化炭素排出量が他材料のそれより少ないのは一般的であると考えられる。

しかし、普通は各梁１本を比較することなどしない。建築物には様々な構造形式があり、用いる部材の種類、寸法やそれらを組み合わせた構造（例えば、トラスなどの組立梁）が千差万別である。梁１本の比較だけでは、建築物全体の環境負荷のごく一部分を切り取ったに過ぎない。従って、最終的には、建築物として木造と他構造の環境負荷量の検証が必要になる。

構造の異なる建築物の比較

２０１８年にポーランドで開催された国連気候変動枠組条約第24回締約国会議（ＣＯＰ24）において、国連欧州経済委員会とポーランド政府国家森林局は、おとぎ話「三匹の子豚」をモチーフとした建築物と気候変動に関するアニメーションを作成し、上映した（図２）。概要は次の通りである。鉄骨造、コンクリート造および木造住宅にそれぞれ暮らす子豚がいた。そこに狼役の気候変動モンスターが現れる。鉄骨造およびコンクリート造住宅は、木造住宅と比較して温室効果ガス排出量がそれぞれ３割、４割高い。さらに木造住宅は炭素を長期間ストッ

図2



の、地球温暖化防止に関する最も重要な会議において、世界に向けてそのようなメッセージが発信されたことは大変意義深い。

ここで、構造の異なる建築物同士の比較について、産業連関法と積み上げ法を利用した日本の事例をそれぞれ紹介する。

まず、産業連関法の事例を紹介する。前提条件として、建築物は基本的には一品生産であり、設計段階から建築物の機能単位を厳密に揃えて構造別の比較を行うことが難しい。もし実施する場合には、試設計による材料・設備等の投入量の把握が必要となり、多くの労力と設計費が必要となる。その点、産業連関法によるＬＣＡは環境負荷をマクロに捉えることに適している。前述のＡＩＪＤＡＴＡにおいて、用途「在来住宅」の延べ床面積１平方メートル当たりの原材料調達から建築までの二酸化炭素排出量を構造別に見ると、木造が５４４・５キログラム、鉄筋コンクリート造は７９２・１キログラム、鉄骨造は７７６・３キログラムとなっている。鉄骨造および鉄筋コンクリート造在来住宅は、木造在来住宅と比較して約４割排出量が高く、前述の「三匹の子豚」の結果と類似した。なお、「在来住宅」以外の全ての用途においても、木造建築物の排出量は他構造のものより低い。これらの結果には物件の平均規模が反映されているため、構造の違いによって建築物の平均階数や延べ床面積が異なること（鉄骨造および鉄筋コンクリート造建築物は木造建築物よりも平均規模が大きい）に留意する必要はあるものの、延べ床面積当たりの排出量を構造別に見れば木造が最も低いという結果になるのである。

次に、積み上げ法による比較事例について紹介する。積み上げ法による詳細な報告事例は多くないが、最近発表された原著論文（参考文献３）において以下の結果が示されている。２階建て、約４００平方メートルの学校建築物を対象に、木造（ＣＬＴ工法）（注）、鉄骨造および鉄筋コンクリート造の原材料調達から建築までの温室効果ガス排出量を算定したところ、ＣＬＴ工法は鉄筋コンクリート造、鉄骨造と比較してそれぞれ３割、２割の排出量削減効果が認められたというものである。

私の知る限り、木造建築物の二酸化炭素排出量は他構造のものよりも低いというのが評価の大勢である。しかし、４階建ての耐火建築物を対象としたＣＬＴ工法と他構造の環境影響（地球温暖化も含まれる）の評価事例（参考文献４）は、ＣＬＴ工法は耐火被覆の石膏ボードやＣＬＴパネルの使用量の増加により、他構造よりも環境影響が大きくなると示唆している。ただし、純粋なＣＬＴ工法ではなく、鉄骨とのハイブリッド工法とすることで環境影響が他工法以下となる代替案も示されている。耐火構造が必要となる中層以上の木造建築物は、今後需要のクすることもできる。気候変動モンスターは木造住宅（に暮らす子豚）に勝てずに消滅する。実際の映像は、ＹｏｕＴｕｂｅ（参考文献２）で閲覧することができるのでご参照いただきたい。算定の前提条件を知ることはできないもの

拡大が見込まれることから、その環境負荷量についてLCA事例の蓄積が必要であると思われる。余談ではあるが、建築物のライフサイクル全体で見れば、二酸化炭素排出量の大半は使用段階（住宅であれば居住時）に起因するため、地球温暖化防止にとって建築物の断熱・気密性能や設備の省エネ性能は重要である。

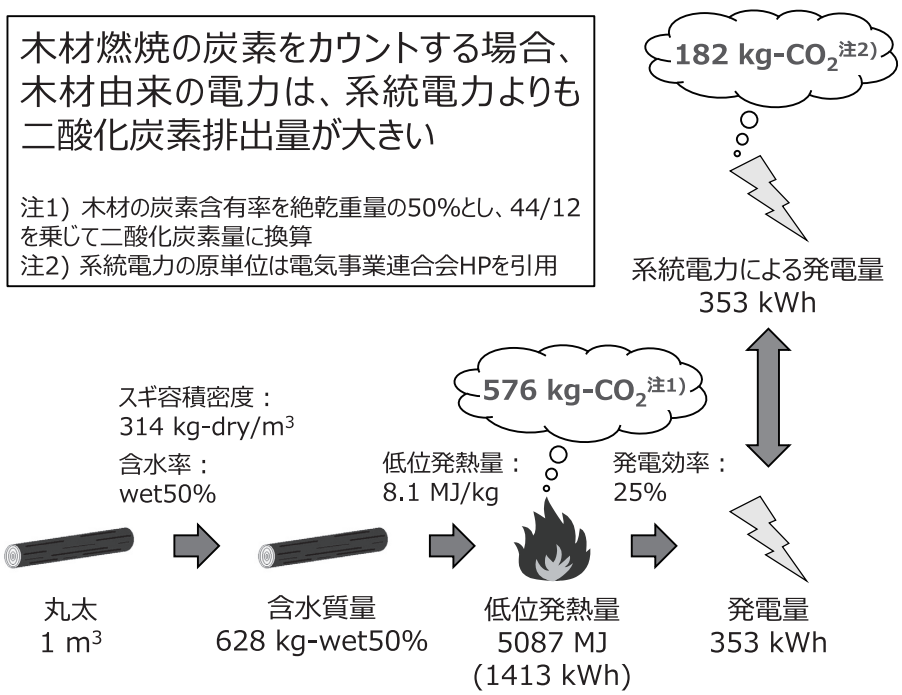
取り扱いに注意が必要なカーボンニュートラルという概念

LCAでは、通常、木材の燃焼による二酸化炭素排出はカウントしない。例えば、製材乾燥で消費される工場端材やバイオマス発電所で消費するチップからの二酸化炭素排出は計算に含めない。それは、木材燃焼による炭素は、樹木が成長時に大気から吸収したものであり、大気中の二酸化炭素の総量を増加させないというカーボンニュートラルの概念に基づいているからである。しかし、欧米では、Carbon debt（炭素負債）、Carbon payback time（炭素回収期間）、Carbon parity time（炭素等価期間）などのカーボンニュートラルに関する10年来の議論がある。それはおおむね以下のようなものである。木材燃焼による炭素を森林が再吸収し、固定するまでに実際には期間を要する。そのため、一時的に「炭素負債」が生じる。また、樹木が生育する気候や樹種によって「炭素回収期間」は大きく異なる。さらに、発電等のエネルギー変換システムを考えた時、発熱量当たりの排出量は、化石燃料システムよりも木材システムの方が大きい（図3）ため、化石燃料と等価の排出量となるまでの期間（「炭素等価期間」）も考慮する必要がある。

当然のことながら、カーボンニュートラルの概念は、木材を産出した森林が伐採前の元の状態になること、すなわち、植林され、適切に管理されて元の資源量まで再成長することが前提である。元の森林より生産力の低い土地に植林した場合、植林しても適切な施業が行われない場合、植林しない場合および森林以外の土地に転用された場合は、炭素回収期間が長くなる、ないしは炭素を回収することが不可能となる。

我が国の森林・木材の研究者の間では、伐採後の森林は元の状態に戻るという性善説に基づき、これまで木材のカーボンニュートラルに関する議論が十分になされてこなかったように思われる（自戒の念も込めて）。木材のエネルギーおよびマテリアル需要の拡大によって国内では過剰伐採が進み、森林の持続可能性が危惧されている地域もある。今まさに、伐採後の再造林や持続的な伐採可能量などに関する議論を深め、木材のカーボンニュートラルの担保に向けた理論武装を行う必要があるのではないだろうか。

図3



（注）CLTとはCross Laminated Timberの略称で、細長い板を並べた層を繊維の方向が直交するように重ねて接着した大型の木質パネル。これを床、壁、屋根などに使用して建築物を建てる工法をCLT工法という。CLT工法による建築物はコンクリート造建築物と比較して軽量、工期が短縮され、現場の省力化も図れるとされる。

参考文献

（1）日本建築学会：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　改定版、丸善出版株式会社（2013）

（2）YouTube：https://www.youtube.com/watch?v=66jVm1f5KJI

（3）渕上佑樹ら：CLT工法を用いた木造学校建築物の建設におけるGHG排出量の定量化、木材学会誌、Vol.66, No.2, pp. 101-111（2020）

（4）革新的技術開発・緊急展開事業（うち経営体強化プロジェクト）公開成果発表会「CLTの製造コストを1／2にし、施工コストを他工法並みにする技術開発」、東京、2020年2月