

木質構造物のライフサイクル評価方法の検討*

Basic Study on Evaluation Method in LCCO₂ of Wooden Structure *

村野昭人**・藤田壮***

By Akito MURANO**・Tsuayoshi FUJITA***

1. はじめに

2005年度に日本から排出された温室効果ガス排出量は、速報値で13億6400万トンとなっており、基準年である1990年の排出量12億6100万トンと比較して、約8.1%増加している。すなわち、京都議定書で義務付けられた基準年比6%削減という目標の達成は極めて困難な状況となっている。さらに、基準年の排出量の約3.9%分の削減を森林吸収でまかなう計画であり、森林の適切なマネジメントが求められている。昭和40年代以降急速に増加した木質構造物の解体・更新時期が迫っている中、森林が生み出す木材を、構造物として都市空間で長期間にわたって利用してCO₂を貯蔵することが重要である。

従って、木質構造物のライフサイクル評価を行う上では、その炭素固定効果や炭素吸収効果を考慮することが求められるが、その取り扱い方については、明確な合意がなされていないのが現状である¹⁾。そこで本研究では、評価対象や評価における時間的なバウンダリの設定などの評価方法の違いが、木質構造物のライフサイクル評価の結果に与える影響について分析する。

2. 木材資源の炭素フローの把握

木材を対象とした資源の流れを把握する試みとして、橋本ら(2004)²⁾は、伐採された木材を対象としたマテリアルフローを分析し、木材の約半数が紙製品、残りの半数が木製品として利用されていることを明らかにした。さらに中村ら(2004)³⁾は、木製品の蓄積量の内訳について分析を行い、その約半数を木質構造物が占めていると推計している。すなわち、木質構造物として大量に蓄積されている木材の解体・再資源化を適切にマネ

ジメントすることが求められている。天野ら(2004)⁴⁾は、日本の建築分野における木材フローに基づいて、建築木材に関わる総括的な炭素収支を評価している。建築木材として建築物に蓄積される炭素蓄積量、未利用間伐材等の廃棄木材による炭素放出量、建築木材の生産および輸送で消費される化石燃料由来の炭素放出量、伐採後の植林による炭素吸収量を推計している。

筆者ら(2005)⁵⁾は、埼玉県の木質構造物を対象として、建設ストックの代謝過程における植林、木材輸送、建築物への蓄積、焼却処分についてライフサイクルステージでの環境負荷を推計し、それらの炭素バランスの評価を行った。平成14年における埼玉県の建設系木材由来の炭素フローを図-1に示す。全体で190kt-Cの炭素が投入され、解体に伴い発生した廃木材に含まれる炭素量98kt-Cのうち半分の48kt-Cが焼却処分によって放出され、残り半分の50kt-Cは固定炭素として焼却後の木炭中に留まり、最終的に39.7kt-Cの炭素が放出された結果となった。炭素放出量の値は、解体廃木材発生量の増加によって平成4年と比較して5.4倍となった。今後、解体される廃木材の発生量がさらに増加することが予想される。従って、木材の炭素固定機能を有効に活用して、持続可能な炭素循環を実現するために、その循環利用技術の開発や各技術を普及させるシステムを構築することが求められている。

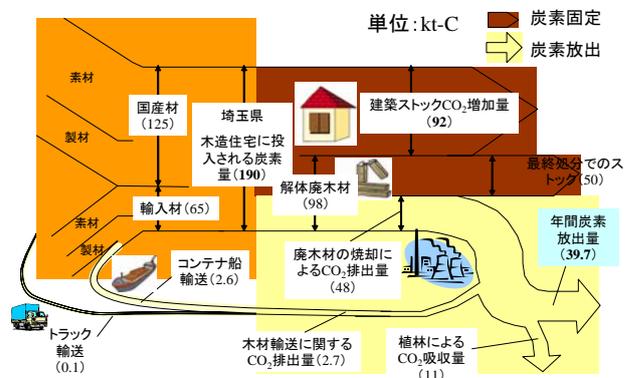


図-1 埼玉県に投入される建設系木材由来の炭素フロー (平成14年)

*キーワード：環境計画，地球環境問題

**正員，博士（工学），東洋大学 工学部環境建設学科
(埼玉県川越市鯨井2100，

TEL049-239-1399，E-mail：murano-a@eng.toyo.ac.jp)

***正員，博士（工学），(独) 国立環境研究所 環境技術評価システム研究室 (茨城県つくば市小野川16-2，
TEL029-850-2119，E-mail：fujita77@nies.go.jp)

3. 木材の成長に伴うCO₂吸収量

(1) 樹木の成長に必要な期間

太い製材を切り出すためには、少なくとも製材の厚さの√2倍の直径の丸太が必要となる⁶⁾。すなわち、120mmの厚さの製材を切り出すためには直径約170mmの丸太が必要となる。

樹木の成長に、どの程度の期間が必要になるかを算出するため、(独)森林総合研究所による杉を対象として宮崎県飢肥で行った実験結果⁷⁾を引用する。実験では、数千本の樹木の成長を、胸高の直径、樹高などについて20年余りにわたって観測している。図-2は、実験結果を基に筆者らが加工したものである。土壌、地形、樹木の密度などによって結果にばらつきはあるが、それらの平均値を図にプロットした結果、実験結果が公表されている25年経過時点までは、ほぼ直線的に直径が太くなっていること分かった。これらの結果から、成長年数と直径との間の回帰直線を求め、一定水準の太さまで成長するまでの年数を算出した。その結果、杉の直径が170mmになるまでには約21年必要であると推計できた。ただし、実際には、乾燥や内部応力によって狂いが生じるため、最終寸法よりも5mm程度大きく製材することが必要であるため、成長に必要な期間は長くなる。

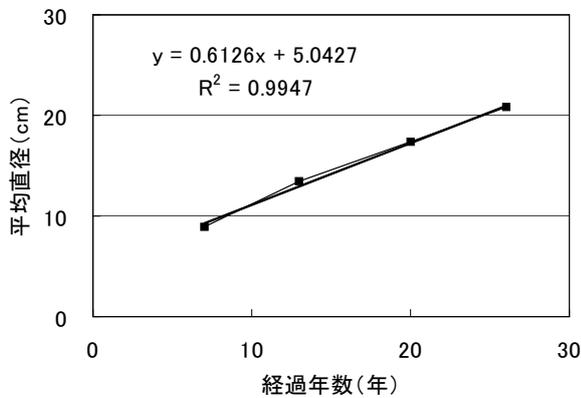


図-2 杉の成長速度

(2) 樹木の成長に伴うCO₂吸収量

杉の人工林における1haあたりの樹木成長量の実測値⁸⁾によると、杉の成長に伴うCO₂吸収量は、樹齢20年頃から増加し始め樹齢40年前後でピークを迎え、樹齢80年ごろまで徐々に吸収能力が減少する。日本の人工林の樹齢別面積分布⁹⁾を図-3に示す。日本の人工林の約98%を杉やひのき、からまつなどの針葉樹が占め、杉が全体の約44%となっている。樹齢別の分布の傾向は、樹種ごとに特に大きな違いは見られず、その多くが樹齢40年に近づいており、CO₂吸収効率の観点から見ると、

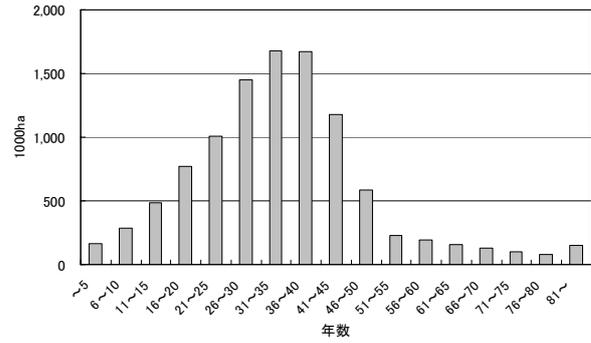


図-3 日本における人工林の樹齢別面積(平成14年)

木材を伐採して利用し、再び植林するサイクルさせるシステムを構築することが急務である。

4. 木質構造物のライフサイクルCO₂の評価

(1) 木質構造物に投入される木材量

(財)日本住宅・木材技術センターが調査した全国の75の物件の平均値¹⁰⁾から、木造住宅に投入される部位別の木材投入量を引用した。延床面積1m²あたり投入される木材は0.185m³であった。さらに、部材ごとに使用される木材の太さについて、建築事務所にヒアリングを行った結果を表-1に示す。

構造材の中でも、住宅の構造強度を保つ最も重要な

表-1 木質構造物への木材投入量

	部材別 使用量 (m ³ /m ²)	割合 (%)	部材の太さ(mm)		
			太	中	細
			120~	60~90	~45
構造材	通し柱	0.0033	1.8	○	
	管柱	0.0298	16.1	○	
	土台	0.0099	5.4	○	
	大引き	0.0044	2.4		○
	梁・胴差	0.0336	18.2	○	
	小屋梁	0.0189	10.2	○	
	母屋	0.0064	3.5		○
	その他	0.0023	1.2		○
準構造材	根太	0.0138	7.5		○
	間柱	0.0126	6.8		○
	貫	0.0012	0.6	○	
	筋違い	0.0053	2.9	○	
	たる木	0.0091	4.9		○
	その他	0.0034	1.8		○
下地材(野地等)	0.0162	8.8			○
仕上材(壁板等)	0.0048	2.6			○
造作材(鴨居等)	0.0100	5.4			○
合計	0.1850	100.0			

部材である通し柱、土台、梁などには太い部材が使用される。一方で、強度を補強する意味合いの強い部材である根太、間柱、構造強度には基本的に無関係である下地材、仕上材、造作材などには細い部材が使用される⁶⁾。従って、120mm以上の太い木材が $0.102 \text{ (m}^3/\text{m}^2)$ 、60~90mmの中程度の木材が $0.013 \text{ (m}^3/\text{m}^2)$ 、45mm以下の細い部材が $0.070 \text{ (m}^3/\text{m}^2)$ 使用される結果となった。

(2) 木質構造物に投入される木材のライフサイクルCO₂の評価

a) 木材のライフサイクルCO₂の評価対象

木質構造物に投入される木材のライフサイクルCO₂を評価する上では、炭素固定効果、炭素吸収効果の取り扱いや、算定期間の設定等が大きく影響すると考えられる。本研究では、それらを操作的に取り扱うことによって、評価結果に及ぼす影響を把握する。

木材のライフサイクルCO₂の評価イメージを図-4に示す。建材として利用できるまで樹木が成長した後、伐採されて建材となり炭素が固定される。同時に、新たな植林を行うことによって、再び炭素吸収が始まる。建材として固定された炭素は、構造物の運用期間中は固定されるが、解体された後の焼却処理によって放出される。

なお、建材加工、建材輸送、施工、解体、焼却処理に伴うCO₂排出量は、樹木の成長期間や固定期間によって変化しないとの仮定に基づき、評価の対象外とした。

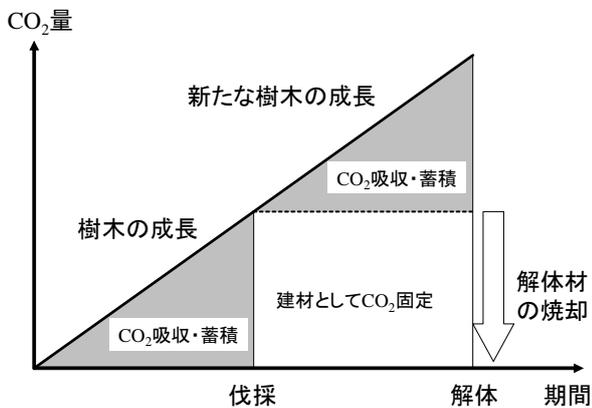


図-4 木材のライフサイクルCO₂の評価対象

b) CO₂吸収量の評価

延床面積100m²の木造住宅に投入される木材量を対象として、吸収期間別の平均炭素吸収量を図-5に示す。植林面積あたりの木材量を378m³/ha¹¹⁾として、植林が必要な面積を算出した。その結果、1年あたりの平均炭素吸収量は50年前後でピークを迎えることが分かった。3章(1)における検討結果より、植林後30年で太い部材としても利用可能な丸太を伐採することが可能となるが、植林後50年前後、CO₂を継続して吸収させることが、CO₂

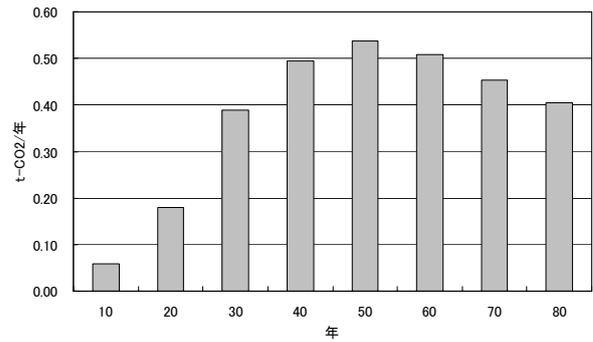


図-5 吸収期間別の平均炭素吸収量

吸収の面で効率が良いことが明らかとなった。なお、60年間継続してCO₂を吸収させた場合と、30年間ずつ2回吸収させた場合を比較すると、継続した方が60年間トータルで約7t-CO₂多く吸収する結果となった。

c) CO₂固定効果・代替効果含めた評価

次に、木質構造物の運用期間を、30年間と60年間に变化させた場合の、ライフサイクルCO₂を評価する。部材ごとの植林に必要な期間を考慮して、CO₂吸収期間を表-2のように設定した。運用期間よりも吸収期間が短い場合には、吸収期間が終了すると伐採し燃料代替として利用し、再度植林を行うとした。燃料代替効果として、木材チップとして燃焼利用することによる重油代替効果を算出する。その際、重油ボイラと木材チップボイラの熱効率は同じと仮定した。

延床面積100m²の木造住宅に投入される木材量を対象として、60年間の炭素固定量、炭素吸収量、代替効果を

表-2 ライフサイクルCO₂評価におけるケース設定

	木質構造物の運用期間	部材別のCO ₂ 吸収期間		
		太	中	細
ケース1	30年	30年	30年	30年
ケース2	30年	30年	30年	10年
ケース3	60年	60年	60年	60年
ケース4	60年	30年	20年	10年

表-3 ケース別のライフサイクルCO₂評価 (60年間, t-CO₂)

	炭素固定量	炭素吸収量	代替効果
ケース1	13.6	23.3	14.6
ケース2	13.6	15.9	25.6
ケース3	13.6	30.5	7.3
ケース4	13.6	15.0	26.1

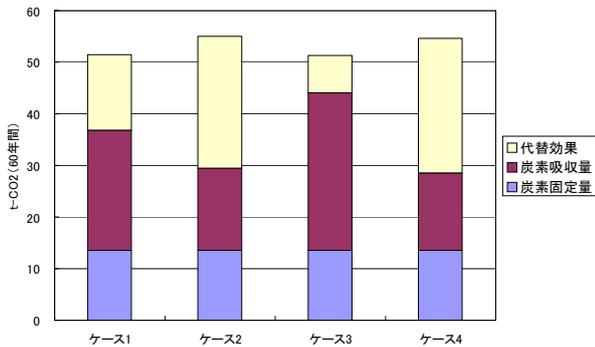


図-6 ケース別のライフサイクルCO₂評価
(60年間, t-CO₂)

算出した結果を、表-3、図-6に示す。その結果、重油代替効果が炭素吸収量を上回ったことにより、短期間で伐採・植林を繰り返すケース2が、炭素固定量・炭素吸収量・代替効果の合計量が最も多い結果となった。ただし、この結果は熱効率の設定の変更や、伐採時や輸送時に必要なCO₂排出量を算出することで、変化するものと考えられる。今回の算出結果は、木材のライフサイクル評価方法を検討する上での基礎的な資料となるものである。

5. まとめ

本稿では、木質構造物のライフサイクル評価を行う上で、評価方法の違いが、木質構造物のライフサイクル評価の結果に与える影響について基礎的な分析を行った。その結果、1年あたりの平均炭素吸収量は50年前後でピークを迎えることが分かった。さらに、一定期間の炭素固定量、炭素吸収量、代替効果を算出した結果、短期間で伐採・植林を繰り返すケースが、最も合計値が大きくなる結果となった。

今後の課題として、解体材を再生建材として利用した場合の評価や、間伐材や加工残材の循環利用を考慮した評価が挙げられる。それらの評価結果に基づいて、木質構造物が保有する炭素蓄積効果を適切にマネジメントする施策に結びつけることが求められる。

謝辞：本研究は、文部科学省科学研究費補助金 若手研究 (B) (平成18～19年度, 研究代表者：村野昭人) の一部として行われた。

参考文献

- 1) 橋本征二, 南齋規介, 工藤祐揮, 森口祐一：バイオマス製品のLCAにおける資源採取とCO₂排出の取り扱いに関する基礎的検討, 第1回日本LCA学会研究発表会講演要旨集, pp140-141, 2005
- 2) 橋本征二, 森口祐一：日本における伐採木材のマテリアルフロー・炭素フローデータブック, CGER-REPORT D034-2004, (独) 国立環境研究所 地球環境センター, 2004
- 3) 中村太陽, 松岡謙, 藤原健史：産業連関表などの経済・生産統計を用いたマテリアルフローとストックに関する解析手法の開発, 環境システム研究論文集, vol. 32, pp. 65-73, 2004
- 4) 天野耕二, 加用千裕：マテリアルフロー分析に基づいた建築分野における木材の炭素収支について, 環境システム論文集, Vol. 32, pp. 57-63, 2004
- 5) 村野昭人, 藤田壮, 根本秀章：木造建築ストックの代謝プロセスにおける炭素バランスの評価, 第13回地球環境シンポジウム講演論文集, pp231-236, 2005
- 6) 村野昭人, 藤田壮：木造住宅の部材特性を考慮した循環利用技術の評価, 第34回環境システム研究論文集, pp455-462, 2006
- 7) (独) 森林総合研究所 短期育成林業研究班：合理的短期育成林業技術の確立に関する試験, 森林総合研究所研究報告 No379, pp. 35-83, 2000
- 8) 千葉幸弘：植物への炭素蓄積のメカニズムと評価, 森林科学33, pp18-23, 2001
- 9) 林野庁：森林・林業統計要覧, 2006
- 10) 財団法人日本住宅・木材技術センター：木造軸組工法住宅の木材使用量 (平成13年度調査), 2002
- 11) 社団法人日本エネルギー学会：バイオマスハンドブック, オーム社, 2002