

木造住宅の部材特性を考慮した循環利用技術の評価

村野 昭人¹・藤田 壮²

¹正会員 博士(工学) 東洋大学 地域産業共生研究センター (〒350-8585埼玉県川越市鯨井2100)

E-mail: murano-a@eng.toyo.ac.jp

²正会員 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

東洋大学 工学部環境建設学科

木造住宅には大量の炭素が蓄積されており、その解体・新築を適切にマネジメントすることは重要な課題である。さらに、木造住宅は多様な部材から構成されており、それぞれに求められる性能は様ではない。各部材の特性を考慮して、解体材の再資源化技術の選択を行うことが求められる。そこで本研究では、木造住宅の解体に伴って発生する廃木材を対象として、その部材特性を考慮した循環利用技術の評価を行った。対象とした技術は、建材化、製紙化、燃料用チップ化である。さらに、埼玉県における森林の樹齢別の蓄積と、樹木の成長期間を考慮して、地域内の木材循環の可能性について検討した。

Key Words : wooden house, characteristic of materials, LCA, cascade recycling

1. 研究の背景・目的

2005年2月に発効した京都議定書において、日本は温室効果ガスを基準年比で6%削減することが定められている。各国の温室効果ガスの排出量の算定基準の作成にあたり、植物が持つ炭素吸収機能をどのように取り扱うかについては、その不確実性などから慎重な姿勢を見せる国が相次いだ。しかし、2001年のマラケシュ合意において、森林管理による吸収量を削減量に含むことが認められ、その上限値が設定されたことから、日本では3.9%分の削減を森林による炭素吸収量によってまかなう計画となっている。さらに第2約束期間以降には、製材品に対する炭素蓄積量が評価される可能性もあり、木材の持つカーボンプール機能を適切に管理することが求められている。

国内に蓄積されている炭素量を把握する試みとして、杉原ら(2004)¹⁾による森林や土壌を対象とした研究、天野ら(2004)²⁾による建築木材を対象とした研究、橋本ら(2004)³⁾による伐採木材を対象とした研究がある。これによると、伐採木材は、その約半数が木製品に、残りの半数が紙製品として利用されており、木製品の多くが耐久材であることから、蓄積量は木製品に関するものが多いと指摘している。さらに、中村らは(2004)⁴⁾は、木製品の蓄積量について、産業連関表を用いてその内訳の把握を試みており、木材の蓄積量の約半数を木造住宅が占めていると推計している。

折りしも、高度成長期に大量に建設された木造住宅が更新の時期を迎えており、膨大な炭素を蓄積している木造住宅の解体・新築を適切にマネジメントすることが求められている。建設リサイクル推進計画2002⁵⁾では、平成17年度における建設発生木材の再資源化率を60%、再資源化・縮減率を90%と定めている。平成14年度実績で、ほぼその水準を満たしているが、その多くはチップ化による熱回収であり、再利用・再生利用といった炭素蓄積を次のサイクルに持ち越す循環利用の割合は多くない。

木材の循環利用に関する研究は、既に広く行われている^{6)・7)・8)・9)・10)}。筆者らも、埼玉県における木造建築の代謝における炭素フローを把握した上で¹¹⁾、木材のリユース・マテリアルリサイクル・サーマルリサイクルした場合の効果について評価を行ってきた^{12)・13)}。しかし、これらの研究では、解体材を一括して取り扱っており、木造住宅における多様な部材特性をあまり考慮していない。国土交通省が示す、木材チップの利用基準¹⁴⁾においても解体材の部位によって、利用方法が異なっている。また、土台等に多く使用されたCCA防腐剤などの薬品の存在が、木材の再資源化の大きな障害になっている¹⁵⁾。

そこで本研究では、木造住宅の解体に伴って排出される廃木材を対象に、部材特性を考慮して再資源化技術の環境効率を比較することを目的とする。

2. 木材の循環利用技術の位置付け

図-1 に、住宅の構想段階から廃棄段階に至る流れと、各段階における環境対策を示す。主に設計段階を対象とした対策、利用段階を対象とした対策、解体・廃棄段階を対象とした対策に分けることができる。2003 年に改訂された住宅の品質確保の促進等に関する法律では、9 分野 28 項目について住宅性能表示基準が定められている¹⁶⁾。その中には、温熱環境性能や維持管理の容易性など設計・利用を対象とした環境対策につながる項目も含まれている。各段階における対策を網羅し、総合的にマネジメントする視点が望まれるが、喫緊の課題となっているのは、既に建設されており、近い将来に解体されることが予想される建築物を対象とした解体・廃棄段階の対策である。そのために、パーティクルボード化、ファイバーボード化、製紙原料化、燃料用チップ化による熱回収などの木材循環利用技術が開発され実用化されている中、個々の技術を組み合わせた統合的なシステムの構築が求められている。

3. 木材循環利用技術の評価

(1) ライフサイクル分析のフレーム

木造建築物に使用される木材のライフサイクルは、森林伐採、製材加工、施工、解体、再資源化、処分の6つの段階に分けることができる。木材の再資源化に伴う環境負荷削減効果を評価する場合には、各段階の環境負荷排出量を把握するとともに、代替品

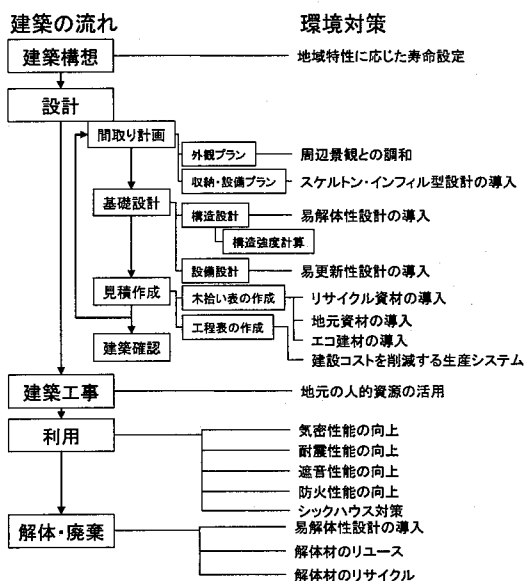


図-1 環境配慮型の住宅の実現に向けた対策

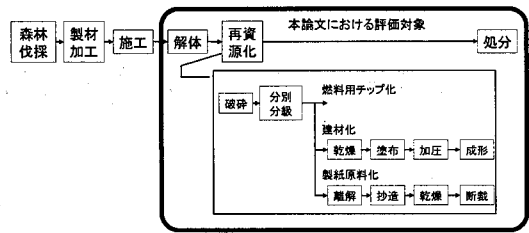


図-2 木造建築物に使用される木材のライフサイクルにおける本論文の評価対象

の削減に伴う影響を考慮することが通常である。しかし、再資源化に伴うライフサイクルの CO₂ 削減効果は、再資源化製品の市場価値には含まれていないのが現状である。廃木材のマネジメント担当者の意思決定は、解体・再資源化に伴うコスト、処分費用、再資源化商品の価格に左右される。本研究では、そのような現状を考慮して、解体段階、再資源化段階、処分段階のみを評価対象とする。解体・再資源化に伴うコストの代替指標として、解体・再資源化に伴うエネルギー消費による CO₂ 排出量を算出する。再資源化製品の利用に伴う CO₂ 排出量や再資源化に伴う新規資源投入量の削減による CO₂ 排出削減量は評価対象外とする。（図-2）

(2) 木材循環利用技術の調査

木材再資源化技術ごとに、廃木材 1 トンあたりのエネルギー投入量を調査した（表-1）。対象とした技術は、燃料用チップ化、製紙原料化、建材化であり、それぞれサーマルリサイクル技術、開いたマテリアルリサイクル技術、閉じたマテリアルリサイクル技術という位置付けとなる。燃料用チップ化については、破砕から燃焼による熱利用までを対象とし、既存研究⁸⁾におけるヒアリング調査の値を引用した。製紙原料化¹⁷⁾、¹⁸⁾、¹⁹⁾については、破砕から離解、抄造、乾燥、断裁までを対象として、製造企業の環境報告書の値を引用した。いずれの企業においても木材チップと古紙を混ぜて原料としており、

表-1 木材循環利用に伴うエネルギー投入量

	廃木材1トンあたりの製造エネルギー					
	原油	電力	石炭	重油	軽油	LPG
	L/t	kWh/t	kg/t	L/t	L/t	kg/t
燃料用チップ化A	0.0	13.6	0.0	0.0	1.8	0.0
燃料用チップ化B	0.0	13.1	0.0	0.0	4.8	0.0
製紙原料化A	0.0	0.3	530.5	0.0	0.0	0.0
製紙原料化B	0.0	278.4	0.0	155.3	0.0	0.0
製紙原料化C	346.4	470.6	0.0	0.0	0.0	0.0
製紙原料化D	0.0	0.0	677.1	111.2	0.0	0.0
製紙原料化E	286.9	234.0	0.0	0.0	0.0	0.0
製紙原料化F	288.8	1117.0	0.0	0.0	0.0	0.0
建材化A	0.0	314.4	0.0	104.1	0.0	25.7
建材化B	0.0	539.4	0.0	184.1	0.0	0.0
建材化C	0.0	122.4	0.0	132.6	0.0	0.0

木材チップのみで紙を製造した場合のデータは入手できなかったため、原料によるエネルギー投入量の変化はないと仮定した。表より、同じ製紙原料化でも、投入するエネルギー源に大きな違いがあることが分かる。建材化^{20), 21)}については、破碎から乾燥、塗布、加圧、成形までを対象として、各企業の環境報告書や研究報告書の値を引用した。いずれの建材化技術も、現時点では非構造化材としての利用を想定しているが、構造化材としての利用を目指した技術開発が進められている。

(3) 木材循環利用技術の解体・再資源化・処分段階におけるCO₂排出量

廃木材の適切な循環利用を図るために、解体段階、再資源化段階、処分段階での環境負荷発生量を評価した。

解体段階については、既存研究⁸⁾のヒアリング調査結果をもとに、解体に使用される重機の燃料使用量を求め、CO₂排出量原単位²²⁾を乗じてCO₂排出量を算出した。その結果、解体工事によって延床面積1m²あたり17.5Lの軽油が消費され⁸⁾。延床面積あたりの木材投入量は、約0.2m³である²³⁾ことから、廃木材1トンあたり約660kg-CO₂の排出量となった。

再資源化段階については、前節で調査した再資源化技術の年間製造エネルギー量の値にCO₂排出量原単位を乗じた。

処分段階については、再資源化が出来なかった残渣分を焼却処理すると仮定し、焼却処分によって廃木材から直接発生するCO₂排出量を算出した。廃木材からのCO₂排出量は、通常はカーボンニュートラルとしてカウントしない。しかし、植林を行うステイクホルダーと、廃木材をマネジメントするステイクホルダーは一般的には同一ではない。さらに、廃木材をマネジメントする者の意思決定に、木材のカーボンプール機能を反映させるために、ここではカーボンニュートラルの概念を適用せずに、廃木材から直接発生するCO₂排出量を算出すると設定した。その他、算出に用いた各値を表-2に示す。

木材の循環利用技術導入による燃料種別のCO₂排出量の算出結果を示す(図-3)。燃料用チップ化

表-2 木材循環利用技術の評価に用いた設定値

	内容	値	単位
設計	木造建築物への木材投入量 ²³⁾	0.198	m ³ /m ²
	木材の比重 ²³⁾	0.35	t/m ³
再資源化	原油CO ₂ 排出量原単位 ²²⁾	2.61	kg-CO ₂ /L
	電力CO ₂ 排出量原単位 ²²⁾	0.44	kg-CO ₂ /kWh
	石炭CO ₂ 排出量原単位 ²²⁾	2.23	kg-CO ₂ /kg
	重油CO ₂ 排出量原単位 ²²⁾	2.71	kg-CO ₂ /L
	軽油CO ₂ 排出量原単位 ²²⁾	2.62	kg-CO ₂ /L
	LPG CO ₂ 排出量原単位 ²²⁾	3.00	kg-CO ₂ /kg
処分	木材の焼却による直接CO ₂ 排出量 ²²⁾	1.29	kg-CO ₂ /kg

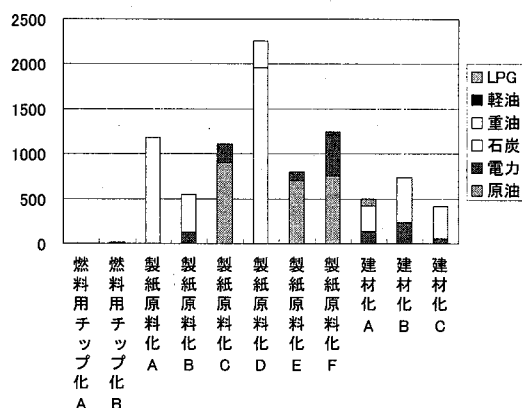


図-3 再資源化に伴う燃料種別のCO₂排出量

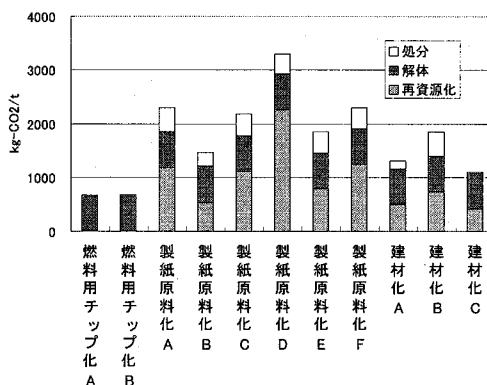


図-4 解体・再資源化・処分段階ごとのCO₂排出量

の際には、ほとんどCO₂を排出しないことが分かる。また、同じ製紙化でも、使用している燃料によって、廃木材1トンあたりのCO₂排出量が500~2300kg-CO₂と大きな差が生じている。石炭のCO₂排出量原単位が大きいことから、石炭を多く使用している工場ではCO₂排出量が大きくなった。

解体・再資源化・処分の各段階のCO₂排出量を比較すると(図-4)、石炭を多く利用した製紙原料化(A, D)では、再資源化段階の排出量が大きいことが分かった。それ以外の製紙原料化や建材化においては、再資源化段階と解体段階でのCO₂排出量が同程度の割合を占める結果となった。

また、燃料用チップ化する場合には、分別工程において金属屑などの残渣が発生するものの歩留り率はほぼ1.0となったため、処分段階においてはCO₂がほとんど排出されないという結果となった。

(4) 木材循環利用技術の環境効率の評価

木材再資源化技術の環境効率を評価するために、

表-3 付加価値の算出に用いた設定値

	内容	値	単位
再資源化	原油価格	42.7	円/L
	電力価格	16.0	円/kWh
	石炭価格	7.04	円/kg
	重油価格	57.0	円/L
	軽油価格	95.5	円/L
	LPG価格	56.1	円/kg
再資源化製品	燃料用チップの販売価格	8500	円/m ³
	紙の販売価格	120000	円/t
	建材化製品の販売価格	60000	円/m ³
処理	木くずの中間処理料金	10000	円/t

再資源化に伴う付加価値を算出した。まず再資源化製品の市場価格を調査²⁴⁾・²⁵⁾し、歩留まり率を乗じることで、廃木材1トン当たりの販売価格を算出した。算出に用いた主な設定値を表-3に示す。紙の販売価格として上質紙の再生紙の価格を、建材の販売価格として、造作用集成材の価格を用いた。また、歩留まりの発生に伴い、製品化されなかった廃木材は燃料用チップ化されると仮定して、燃料用チップの価格を再資源化製品の販売価格に加算した。その値と、再資源化に伴うエネルギーのコスト、中間処理場における木くずの受入料金との差を付加価値として算出した。

再資源化に伴うCO₂排出量として、3(3)で算出した再資源化に伴うCO₂排出量、解体に伴うCO₂排出量、処分に伴うCO₂排出量の合計値を算出した。各循環利用技術のCO₂排出量と付加価値を比較した結果を図-5に示す。各点と原点を結んだ直線の傾きが環境効率となる。この結果、燃料用チップ化による熱回収、製紙原料化、建材化の間には、環境効率の面で大きな差が無いことが分かった。ただし、製紙原料化技術の中に大きなばらつきが見られ、価格は安いCO₂排出量原単位が大きい石炭を利用することによって、環境効率が大きく低下することが明らかとなった。今後、地球温暖化問題の深刻化に伴って、新規資材の価格が上昇した場合、リサイクル建材の価格が上昇することが予想される。現時点では、リサイクル建材を構造材として利用するには

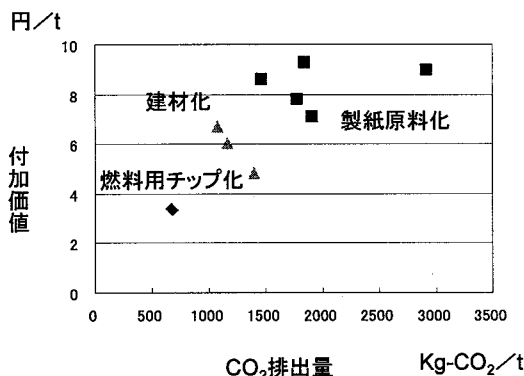


図-5 木材循環利用技術の環境効率

技術的な課題が残されており、今後の技術開発によって、その汎用性が増すことが期待される。

4. 部材特性を考慮した木材循環利用技術の評価

(1) 木造住宅の部材特性

木造住宅は様々な部材から構成されている²⁶⁾・²⁷⁾。解体廃木材を取り扱う研究では、構造材・準構造材・その他などに大きく分類して取り扱われるケースが多い⁷⁾。本研究では、より現実に即して木材循環利用技術の評価を行うために、各部材の種類ごとにその特性を把握することを試みる。

部材ごとに使用される木材の太さや樹種の選択について、建築事務所にヒアリングを行った(表-4)。部材別の木材使用量は、(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²³⁾を引用した。この値には、合板類は含まれていない。

構造材には、通し柱、萱柱、梁、土台、母屋などが含まれる。住宅の構造強度を保つ最も重要な部材であるため、120mm、90mmなどの太い木材が使用される。準構造材には、根太、間柱、貫、筋違いなどが含まれる。強度を補強する意味合いの強い部材であるため、比較的細い木材が使用される。貫や筋違いには、120×30mmなど、太いが薄い木材が使用されることが多い。下地材、仕上材、造作材などは、構造強度には基本的に無関係であることから、細い部材が使用される。

杉や桧は加工が容易であることから、どんな部材にも用いることが可能である。しかし、通し柱は梁

表-4 木造住宅の部材特性

		木材使用量	割合	部材の太さ(mm)			主な樹種
		(m ³ /m ²)	(%)	120	90	~45	
構造材	通し柱	0.0033	1.8	○			杉・桧・松・ツガ・広葉樹
	萱柱	0.0298	16.1	○			杉・桧・松・ツガ・広葉樹
	土台	0.0099	5.4	○			桧・ヒノ・松
	大引	0.0044	2.4		○		杉・桧・ツガ
	梁・胴差	0.0336	18.2	○			松・広葉樹
	小屋梁	0.0189	10.2	○			松・広葉樹
	母屋	0.0064	3.5		○		杉・桧・松・ツガ
	その他	0.0023	1.2		○		杉・桧
	計	0.1086	58.7				
準構造材	根太	0.0138	7.5			○	杉・桧・松・ツガ
	間柱	0.0126	6.8			○	杉・桧・松・ツガ・広葉樹
	貫	0.0012	0.6	○			杉・桧
	筋違い	0.0053	2.9	○			杉・桧・松・ツガ
	たる木	0.0091	4.9			○	杉・松・ツガ
	その他	0.0034	1.8			○	杉・桧
	計	0.0454	24.5				
下地材(野地等)		0.0162	8.8			○	杉・桧・松
仕上材(壁板等)		0.0048	2.6			○	杉・桧・松
造作材(鴨居等)		0.0100	5.4			○	杉・桧・ヒバ
合計		0.1850	100.0				

が鴨居など多くの部材と組み合わせるため、ケヤキ・クスギなどの固い広葉樹が適している。土台には、カビや蟻に強いヒバが適している。しかし既存の住宅には、ミツガなど耐久性、防蟻性の低い樹種に CCA 防腐材などを塗布して、土台に使用するケースが多かったことが、解体材の循環利用を困難にしている。梁には、曲げ方向の力がかかることが多いため、曲げ強度が強い松やケヤキなどが適している。

(2) 木材チップの品質基準

近年、重油の価格高騰に伴い、木材チップの利用率が上昇しているが、以前は需要が低迷していた。その原因の一つとして、木材チップの利用に関する統一された規格が無く、品質上の問題点があったことが指摘されている。そこで、国土交通省を始めとする関係機関が集まり、木材チップに関する品質基準案を作成し、その発生源ごとに適する用途を規定している¹⁴⁾。解体工事から発生する木材に関しては、柱や梁などの断面積の大きい部材から製造された木材チップであれば、製紙原料やボード原料として利用が可能であるとされている(表-5)。

(3) 部材特性を考慮した木材循環利用技術評価

国交省の木材チップの品質基準案に従い、太い部材が用いられる部位の解体材は製紙原料へ、中程度の太さの部材が用いられる部位の解体材は建材へ、細い部材が用いられる部位の解体材は燃料用チップ化へという基準で、建築部材別の再資源化利用用途を選択した。その結果を表-6 に示す。◎は、もっとも適している用途、○は可能である用途を意味する。土台には CCA 防腐剤が使用されているケースが多いため、チップ化にも不適であると判断した。

次に、木材循環利用のケース設定を行った(表-7)。表の中の数字は、各ケースにおいて、木造住

表-6 部材別の循環利用用途

		循環利用用途		
		燃料用 チップ化	製紙 原料化	建材化
構造材	通し柱	○	◎	○
	管柱	○	◎	○
	土台	×	×	×
	大引き	○	○	◎
	梁・胴差	○	◎	○
	小屋梁	○	◎	○
	母屋	○	○	◎
	その他	○	○	◎
準構造材	根太	◎	×	×
	間柱	◎	×	×
	貫	○	◎	○
	筋違	○	◎	○
	たる木	◎	×	×
	その他	◎	×	×
	下地材(野地等)	◎	×	×
	仕上材(壁板等)	◎	×	×
	造作材(鴨居等)	◎	×	×

◎・・・最適

○・・・可能

×・・・不可能

表-7 木材循環利用ケースの設定

		用途別の延床面積あたり木材量 (m ³ /m ²)		
		燃料用 チップ化	製紙 原料化	建材化
ケース1	全量燃料用チップ化	0.175	0.000	0.000
ケース2	製紙原料化+燃料用チップ化	0.070	0.105	0.000
ケース3	建材化+燃料用チップ化	0.070	0.000	0.105
ケース4	製紙原料化+建材化+燃料用チップ化	0.070	0.092	0.013

宅の延床面積 1m²あたりの、各用途の対象となる木材量を表す。ケース1は全量燃料用チップとした場合である。ケース2は製紙原料化を優先し、表-6において製紙原料化が◎、もしくは○の部材は、すべて製紙原料化し、土台を除くそれ以外のものを燃料用チップとするケース。ケース3は建材化を優先し、表-6において建材化が◎、もしくは○の部材は、すべて製紙原料化し、土台を除くそれ以外のものを燃料用チップとするケース。ケース4は、各部材が最も適する用途に循環利用したケースとした。各ケースについて、3章の4節と同様に環境効率を求めた(図-6)。各プロットと原点を結んだ直線の傾きが環境効率となる。算出においては、各循環

表-5 木材チップの品質基準案

チップ区分	主な用途	原料	解体工事における 分別等級
Aチップ (切削、破砕)	製紙原料、エタノール原料、炭	・柱、梁など断面積の大きなもの ・無垢木(幹材)	第1種 ・無垢材(柱、梁など断面積の大きなもの、板材、幹、枝など) ・ベンキ付着のないもの
Bチップ (破砕)	製紙原料、繊維板(MDF、ボード他)、パーティクルボード、エタノール原料、炭、マルチング材、敷料、コンポスト	・主にパレット、梱包材、解体材で比較的小断面積のあるもの ・無垢木(枝材)	
Cチップ (破砕)	パーティクルボード、燃料、敷料、セメント材料、エタノール原料	・Bチップと同様、および合板など	第2種 ・上記以外の木くず、合板など(A、Bチップにならないもの) ・ベンキ付着物を含む
Dチップ (破砕)	燃料、高炉還元剤、セメント材料	・型枠など上記以外の木くず、ベンキの付着した木くず(後、障子等を含む。プラスチック加工木は除く。)	
ダスト	敷料、炭	・チップ製造の際の副産物	—

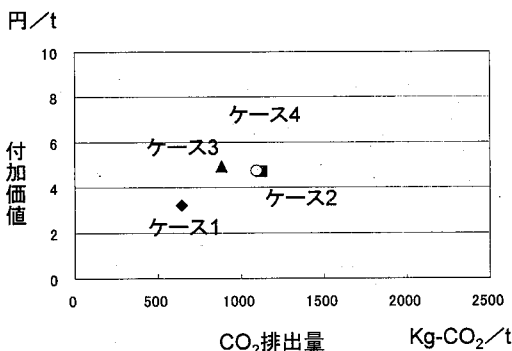


図-6 部材特性を考慮した木材循環利用技術の環境効率

利用用途の平均値を使用した。

この結果、ケース 3 の環境効率が最も高い結果となったが、ケース 1 との差はわずかであった。また、環境効率の算出において、各技術の平均値を採用したことから、製紙原料化を含むケース 2・ケース 4 の環境効率が低くなったと考えられる。今回の試算では、各部材の循環利用の用途を限定することが、歩留まりに与える影響を考慮していないことから、カスケードリサイクルの効果を過小評価している可能性が高い。

5. 地域内における木材循環利用

前章まで、木材の循環利用技術の比較評価を行った。付加価値を CO₂ 排出量で割った値のみで評価した場合、同様の機能を持つ鉄骨・コンクリートなどの建設資材、石油などの化石燃料と比較した場合に、効率面で劣る可能性が考えられる。しかし木材がそれらの資源と大きく異なる点として、再生可能であり、地域内で閉じた循環を実現する可能性があることが挙げられる。木材を利用する上では、この点を最大限に活かすことが求められる。すなわち、解体廃木材の部材特性および空間特性に応じて、再資源化技術を選択することによって、循環利用効率の向上を図ることが必要である。そのためには①再資源化技術の評価②解体廃木材の部材特性の把握③空間特性の把握の 3 点が必要であり、本章では埼玉県を対象として木材供給に関する特性について分析し、地域内での木材循環利用の可能性を検討する。

(1) 埼玉県における木質資源

木材を始めとする建設資材は、単位体積あたりの価値が低い資材である。従って、輸送に伴う環境負荷・コストの占める割合が相対的に大きくなり、その削減に向けて地域内循環を促進することの意義は大きい。そこで、埼玉県における森林の整備状況を調査した²⁸⁾。その結果、県全体の森林面積は、約 12 万ヘクタールであり、県の面積の約 32% を占めている。その中で地域森林計画の対象となっている樹種別蓄積量を見ると、全体で約 2600 万 m³ の木材が蓄積されている中の半数以上を杉が占めており、次いで桧、赤松という順になっている(表-8)。埼玉県では、地域森林計画の中で平成 15 年度からの 10 年間で、主伐材を 76 万 m³、間伐材を 69 万 m³ 伐採し、人工造林を 2293ha、天然更新林を 1450ha 造林する計画となっている²⁹⁾。

次に、樹齢別の森林面積・蓄積量を図-7 に示す。その結果、樹齢が 40 年以上となる森林が、面積で

表-8 埼玉県の地域森林計画対象森林における樹種別蓄積量(平成 15 年 3 月)

		面積(ha)	蓄積(千m ³)
針葉樹	杉	36,194	14,274
	桧	17,678	3,721
	サワラ	328	145
	赤松	4,448	1,376
	唐松	1,225	325
	その他	499	187
	合計	60,372	20,027
広葉樹	クスギ	1,916	322
	その他	39,449	5,496
	合計	41,365	5,818
竹林		437	—
無立木地		909	—
合計		103,083	25,845

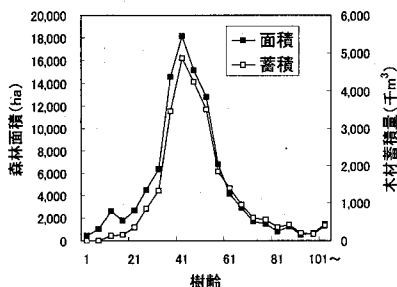


図-7 埼玉県における樹齢別の森林面積・蓄積量

全体の 80%、蓄積では 90% 近くを占めていることが分かった。

(2) 木材の成長に必要な期間

太い製材を切り出すために必要な丸太の直径は、図-8 より算出することが出来る。すなわち、120mm の厚さの製材を切り出すためには直径が約 170mm の丸太が必要となる。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が、ここでは考慮しない。

次に、算出した太さの丸太の樹木の成長に、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・赤松を対象とした実験結果³⁰⁾を引用する。観測結果を分析したところ、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が分かった。そこで成長年数と直径との間の回帰直線を求め、一定

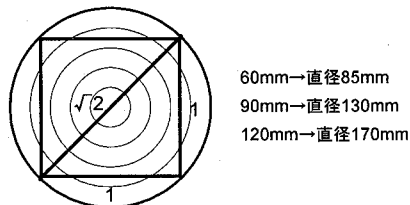


図-8 製材を切り出すために必要な丸太の直径

表-9 杉・赤松の成長に必要な年数

直径(mm)	到達年数(年)		
	85	130	170
杉	7.3	14.7	21.2
赤松	12.3	20.5	27.8

水準の太さにまで成長するまでの年数を算出した(表-9)。その結果、直径が 170mm になるまでに、杉は約 21 年、赤松は約 28 年かかると推計できた。

(3) 木材の地域内循環ポテンシャルの検討

表-4 を基に、部材別の樹種を選択した(表-10)。さらに、平成 15 年度の埼玉県における木造住宅の着工延床面積 413 万 m^2 を乗じて、埼玉県における樹種別の製材の需要量を求めた。その結果、杉が 47 万 m^3 、松が 24 万 m^3 必要であるという結果が得られた。

埼玉県には杉が約 1400 万 m^3 、松が約 170 万 m^3 蓄積されており、その 90% が樹齢 40 年以上である。表-9 より、杉・松ともに 30 年以下で製材として利用可能な太さに成長することを考慮すると、杉に関しては埼玉県の森林には県内の木造住宅の製材需要をまかなうだけのポテンシャルを有していることが明らかとなった。一方で、松に関しては、約 7 年分の需要にしか対応できないため、赤松・黒松の森林面積が大きい東北地方などから供給を補うことが必要となる。すなわち、木材の循環利用を考える際には、地域でまかなえる資源である木材を活かす視点が必要であり、樹種に応じた持続可能な供給システムを構築することが求められる。

6. 結論

本研究では、木造住宅の部材特性を考慮して、廃木材の再資源化に伴う CO_2 排出量、付加価値を算出し、再資源化技術の環境効率を比較した。その結果、燃料用チップ化による熱回収、建材化、製紙原料化の間には大きな差が見られないことが明らかとなった。しかし、建材化の際の接着剤使用による環境負

荷が多いという報告³¹⁾や、防腐剤を使用した場合、その毒性評価を考慮すると木質材料は必ずしも環境に良い材料ではないという報告¹⁵⁾があり、評価対象物質、評価項目を広げた、さらなる検討が必要となる。さらに、複数サイクルにまたがる木質資源のカスケード型利用の効果を定量的に評価することによって、木造住宅が保有するカーボンプール機能の評価につなげることが求められる。

また、回収した熱を効率よく利用するには、熱の需要先が近くに立地していることが重要となる。また、輸送に伴う CO_2 排出量やコストを考慮に入れた場合、再資源化工場の立地が限定される製紙原料化の評価が低くなる可能性が高い。

すなわち、廃木材の循環利用を促進するためには、部材特性のみならず、木質資源の需給バランスなどの地域特性を考慮して、循環利用技術を選択することが重要となる。廃木材の供給量と再資源化利用の需要量の地域バランスを考慮して、木材再資源化施策への展開を図ることが、今後の課題となる。

謝辞：本研究は、文部科学省・私立大学学術研究高度化推進事業「東洋大学地域産業共生研究センター」(平成 16 年度～平成 20 年度、研究代表：藤田壮)および同省科学研究費補助金 若手研究 (B) (研究代表者：村野昭人)の一部として行われた。

参考文献

- 1) 杉原弘恭, 生駒依子, 山下潤: 日本列島のカーボンプール: 森林・森林土壌・湿地・農地土壌に関する研究, 日本政策投資銀行 地域政策研究センター 地域政策研究 vol. 11, 2004
- 2) 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
- 3) 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
- 4) 中村太陽, 松岡譲, 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
- 5) 建設副産物リサイクル広報推進会議: よくわかる建設リサイクル 平成17年度版, 2005
- 6) 橋本征二, 小原卓巳, 寺島泰: 解体木くずリサイクルの環境面からの評価, 土木学会論文集 No. 643/VII-14, pp. 37-48, 2000
- 7) 藤田壮, 盛岡通, 高橋友幸: 住宅・建設資材の地域循

表-10 部材に適した樹種の選択

	部材	選択樹種		部材	選択樹種
構造材	通し柱	ケヤキ	準構造材	根太	杉
	管柱	杉		間柱	杉
	土台	ヒバ		貫	杉
	大引き	杉		筋違	杉
	梁・胴差	松		たる木	杉
	小屋梁	松		その他	杉
	母屋	松	下地材（野地等）	杉	
	その他	杉	仕上材（壁板等）	杉	
			造作材（雕居等）	杉	

- 環境システム～京阪神都市圏における再資源化の効果
～, 環境システム論文集, Vol. 31, pp. 317-326,
2003
- 8) 小玉祐一郎, 岡健雄, 河合誠, 野口貴文, 服部順昭,
山畑信博, 清野新一, 中島史郎: 木造建築物の再資
源化・資源循環化技術の開発 その 1 木造建築物の
物質循環算定手法の開発, 建築研究報告 No. 140,
2004
- 9) 加藤廣之, 池井健, 古坂秀三, 金多隆: 循環資源とし
てみた建築解体木材の処理方法とそれを考慮した設
計手法～京都におけるモデルを通して～, 第20回建
築生産シンポジウム論文集, pp. 121-126, 2004
- 10) 鹿毛敏, 橋本征二, 南齋規介, 服部順昭: 建築解体
廃木材のリサイクルに関するLCI分析, 第1会日本LCA
学会研究発表会 講演要旨集, pp. 186-187, 2005
- 11) 村野昭人, 根本秀章, 藤田壮: 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集, pp. 231-236, 2005
- 12) 村野昭人, 藤田壮, 星野陽介: 木質系建設資材の
循環利用システムの構築とその評価-埼玉県における
ケーススタディ-, 環境システム研究論文集, Vol. 33,
pp. 249-258, 2005
- 13) 星野陽介, 村野昭人, 藤田壮, 東洋大学: 地域産業
共生研究センターの木造実験住宅を対象とした木材
循環利用技術の環境改善効果の評価, 第33回環境シ
ステム研究論文発表会講演集, pp. 27-32, 2005
- 14) 建設副産物リサイクル広報推進会議: 建設発生木材
チップの利用促進基準 (暫定版), 2003
- 15) 橋本征二, 広池秀人, 山中勇司, 貫上佳則, 角田邦
夫, 今村祐嗣, 小松幸平, 川井秀一: 防汚処理木材
のライフサイクルアセスメント～木橋のケーススタ
ディ～, 土木学会論文集No. 755/VII-30, pp. 45-56,
2004
- 16) 国土交通省住宅極住宅生産課監修: 住宅の品質確保
の促進等に関する法律 改訂版2003, 創樹社, 2003
- 17) 王子製紙 (株) 企業行動報告書, 2005
- 18) 日本製紙グループ 環境・社会報告書, 2004
- 19) 大王製紙 (株) 環境報告書, 2005
- 20) 積水化学工業 (株): リサイクル EW の環境影響評価
-開発へ LCA 応用の試み-, 2004
- 21) 大建工業 (株) 環境報告書, 2005
- 22) 南齋規介, 森口祐一, 東野達: 産業連関表による環
境負荷原単位データブック (3EID) -LCA のインベン
トリデータとして-, (独) 国立環境研究所 地球環
境センター, 2002
- 23) 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
- 24) 積算資料 平成 18 年 3 月, (財) 経済調査会, 2006
- 25) 建設物価 平成 18 年 3 月, (財) 建設物価調査会,
2006
- 26) 住宅金融公庫監修: 木造住宅工事共通仕様書 平成
17 年改訂 (全国版) 解説付, 住宅金融普及協会, 2005
- 27) 力石眞一, 中村茂: 品質を守る木造住宅の計画と設
計, 井上書院, 2002
- 28) 埼玉県農林部森づくり課: 森林・林業と統計 平成16
年度版, 2004
- 29) 埼玉県農林部: 地域森林計画書, 2003
- 30) (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
- 31) 服部順昭, 澤田幸伸, 安藤恵介, 田村靖夫: 木質材
料に使われる接着剤のインベントリ, 第1会日本LCA
学会研究発表会 講演要旨集, pp. 180-181, 2005

EVALUATION OF RECYCLING TECHNOLOGIES BY CONSIDERING MATERIAL REUTILIZATION CHARACTERISTICS OF WOODEN HOUSES

Akito MURANO and Tsuyoshi FUJITA

Since a large amount of carbon is accumulated in wooden houses, demolition and construction processes are important issues which need proper management to prevent the carbon dioxide discharge from urban buildings. Due to the fact that wooden houses are composed of various type of wooden materials, recycling technologies which transform wooden wastes into engineered woods, paper raw materials, and wood chips are evaluated with the considerations of technology suitability from material characteristics. In addition, the possibility of the wood circulation in Saitama Prefecture was examined by considering the relation between the growth period of trees and the wooden volume according to the tree classes in the forest.