

木質建材の低環境負荷化に向けた 環境システマ的思考の適用

中島 古史郎¹・村野 昭人²・藤田 壮³

¹正会員 積水化学工業(株) 環境・ライフラインカンパニー (〒105-8450 東京都港区虎ノ門2-3-17)

E-mail: nakajima016@sekisui.jp

²正会員 東洋大学 工学部 環境建設学科 (〒350-8585 埼玉県川越市鯨井2100)

³正会員 (独)国立環境研究所 環境技術評価システム研究室 (〒305-8506 つくば市小野川16-2)
東洋大学 工学部環境建設学科 (〒350-8585 埼玉県川越市鯨井2100)

本研究では、主に都市内に賦存する木質資源を対象として、現状の施策・対策の調査を行い、環境システムの思考を適用して、特に再生建材化技術を中心とした循環利用技術の環境負荷削減効果を比較するとともに、普及に向けた技術開発のポイントを提案することを目的とする。具体的には、第一に廃木材の再生建材化技術について調査した。第二に、建設廃材、加工残材、剪定枝など、都市域に賦存する木質系バイオマスを対象として、各技術の環境負荷削減ポテンシャルを評価した。最後に、技術開発が環境負荷削減にもたらす定量的な効果を評価した。

Key Words: woody building material, material recycling, engineered wood

1. 研究の背景・目的

日本では、昭和 40 年代以降急速に増加した木質構造物の中に、大量の炭素がストックされている。既存研究¹⁾によると、2002 年度の木材投入量 1200 万トンに対して、ストック量が約 6 億トンとなっている。それらの大量解体・更新時期が迫っている中、解体廃木材を再び都市空間で長期間にわたって利用することにより、CO₂ の放出を防ぐことが求められる。そのような社会的ニーズに応えるために、建設廃木材を利用した再生建材化技術²⁾の開発が注目されており、その普及に向けて、環境システムの思考を適用し、再資源化時のエネルギー投入量の総合的評価などを行い、あるべき利用用途の拡大の方向性を示す事が求められている。

そこで本研究では、運搬コストを低く抑えるために、主に都市内に賦存する木質資源を対象として、現状の施策・対策の調査を行い、特に再生建材化技術を中心とした循環利用技術の環境負荷削減効果を比較するとともに、普及に向けた技術開発のポイントを提案することを目的とする。

さらに、炭素吸収の観点からは、杉の場合には植林後約 50 年で伐採することが最も効率が良いという試算結果もある³⁾。すなわち、木造住宅の寿命を 50 年近くまで延ばせない場合にも、再生建材化を通じて木材を

50 年近く利用することによって、効率的に炭素を吸収する森林を維持することが可能となる。

2. 木質建材による環境負荷削減対策

(1) 廃木材利用に向けた対策

図-1 に、建設ストックから発生する廃木材のカスケード型利用の現状⁴⁾を示す。土木・建築材や家具材として利用された木材は、廃木材・古材となった後、再利用・再生建材化、ガス化・直接燃焼などの熱化学的変換、糖化・発酵などの生物化学的変換などを通じて再資源化されている。現在は、燃料用チップ化による熱回収を始めたとするエネルギー利用が中心となっているが、建設資

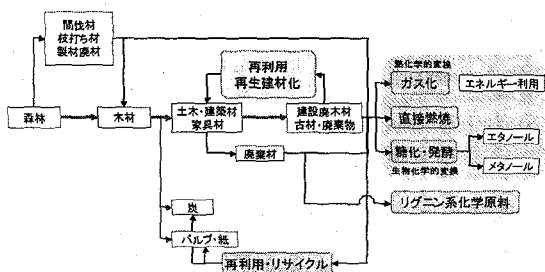


図-1 木材構成物質のカスケード型利用の現状

材として都市内にストックされた炭素の放出を防ぐためには、再利用・再生建材化によって炭素を長期間固定することが求められる。

(2) 現状の廃木材利用における課題

表-1 に廃木材利用法別の課題を整理した。こうした課題を踏まえ、技術開発のポイントは大きく2点に絞られる。

① トータルエネルギー効率向上

投入エネルギーに対する産出エネルギーで評価（EPR等）すると、バイオ燃料は既存製品と比べて厳しい。

『直接燃焼』も発電効率が低く、『ガス化』の効率向上や『糖化・発酵』の微生物による省エネプロセスが期待される。

② 量と質を含めた原料の安定供給

廃木材は分散して発生するため、集材・搬送コストを考慮すると中規模以下の処理施設に限られる経済合理性や、有毒不純物除去といった課題をブレークスルーする技術開発が期待される。

持続可能な木質バイオマスの利用は、社会の中で50年程度、長期貯蔵される事が望ましく、『再生建材化』は他の利用法が研究開発段階にある中、更なる拡大進展が必要とされている。木造住宅への部位別の木材投入量割合⁵⁾を考慮すると、再生建材の用途が造作材・仕上材・下地材から構造材・準構造材へと拡大した場合、需要量のポテンシャルが3倍以上増えるものと予想される。

3. 再生木質建材化による環境負荷削減効果の算出

(1) 再生木質建材化技術の調査

廃木材有効利用事業として代表的な製品に、パーティクルボードが挙げられる。現在は、原料チップの7割以上が、建築物解体材、パレットその他の梱包資材など木質系廃材になっている。本製品のLCA評価は、林野庁は

表-1 廃木材利用における課題

再生建材化	建設廃木材 他
	パーティクルボード・MDF【市場約300万m ³ /年】 構造用パネル・OSB【市場約800万m ³ /年】
直接燃焼	1) 下地材・家具建具用の小強度の材料へ再生され、リサイクルが進まない 2) 防蟻材(GCA等)有毒物・異物の除去
ガス化	1) 木くずで30(wt%)程度水分を含み、蒸発潜熱として奪われ発電効率が低い 2) 灰分などの除去のため、高温での熱回収が容易でない
糖化・発酵	1) 直接燃焼より燃焼温度を高くして、効率の向上 2) タールの発生抑制
リグニン	1) 糖処理工程の省エネ化・低コスト化(木質バイオエタノール 100円/L) 2) リグニンなど廃液の処理
リグニン	1) 研究段階

投入量[kg]		f-CO ₂ 排出量
① チップ	1,080.000	チップ+ボード製造 →200[kg] 接着剤製造 →50[kg]
② 接着剤		
UF	0.046	
MF	0.034	
PF	0.015	
MDI	0.013	

図-2 パーティクルボードのインベントリ

(論文データをもとに筆者らが作成)

表-2 日本における木質系バイオマスの利用可能量

	単位	林地残材	製材所廃材	果樹剪定
利用可能量	t	198,612	777,700	761,938
割合	%	5.1	19.9	19.5
	単位	公園剪定	建築解体廃材	新・増築廃材
利用可能量	t	120,486	1,562,854	481,638
割合	%	3.1	40.0	12.3

じめ学会・メーカー等で既に多く試みられてきている。最近の寺島らの研究⁶⁾による、1tのパーティクルボードを製造する場合の投入材料とCO₂排出量を、図-2に示す。投入重量比で、0.01%に満たない接着剤製造から2割のCO₂が排出される結果から、環境面からの再生建材化技術においては、環境負荷の少ない接着剤を導入することの重要性は少なくない。

(2) 再生木質建材利用による環境改善ポテンシャルの評価

日本で発生する木質系バイオマスを対象として、循環利用に伴う環境負荷削減効果を算出する。NEDOが公開している木質系バイオマスの賦存量推計データ⁷⁾を基に、解体廃材、製材所廃材等の利用可能量を求め(表-2)、木質建材化技術を導入した場合の環境負荷削減ポテンシャルを推計する。その結果、木質建材化に伴い約90万tのCO₂が発生するが、全量焼却する場合と比較してCO₂換算で716万tの炭素固定効果を有することが分かった。これは、2003年における日本全体の温室効果ガス排出量13億3,900万t-CO₂の0.53%に相当する。

4. 再生木質建材化技術の改善による効果の評価

実用化されている再資源化技術の環境負荷削減効果をさらに高めるためには、環境システムの思考に基づき、2章2節に示した課題を踏まえて総合的にマネジメントすることが求められる。

そこで、①低環境負荷の天然系接着剤の利用②リユース可能な内装建材の開発の2ケースについて、環境負荷削減効果を算出する。

(1) 低環境負荷型の天然系接着剤の利用

前述の通り再生建材の製造に伴う環境負荷発生量においては、原料である接着剤の製造に伴う環境負荷発生量が大きな割合を占める。そこで、室内空気環境のホルムアルデヒド対策として使用が増加している、水性高分子系イソシアネート接着剤（API）と、最近発売されたリサイクルエンジニアードウッド向けに開発されたタンニンを含む天然系接着剤について環境影響評価を試みた。

図-3 に、それぞれの原料を示す。API については澤田らの研究⁹⁾による。天然系接着剤は、S 社データによるが詳細は公表されていない。

システム境界は、資源採取から接着剤を水溶液ベースで 1kg 製造するまでとした。インベントリ分析の結果、天然系接着剤は API に比して CO₂ 排出量が約 30% 低減、NO_x 及び SO_x は 1/10 以下となった^{9), 10)}。影響評価は LIME の統合化係数リスト Ver. 1 を使用した被害算定を行い、天然系接着剤は API の数%程度にとどまる事がわかった。再生建材の普及促進を考える時、こうした環境低負荷型の接着剤との相乗効果を期待したい。

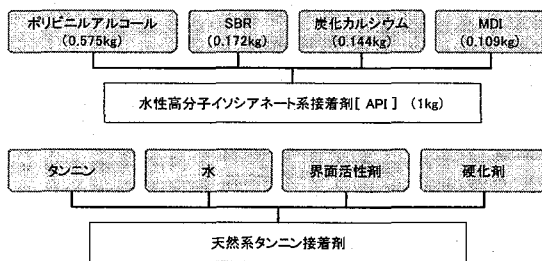


図-3 再生建材に使用する接着剤

(2) リユース可能な内装建材の開発

都市内にストックされている木質バイオマスを、その都市内でリユースする時、今後増大する住宅リフォーム用途には大きな期待が寄せられる。

都下公団集合住宅において、築 30 年の間に改修・間取り変更・解体の 3 工事がなされた場合に、リユース可能な面材・床材を使用した時の環境影響負荷を求めた研究¹⁰⁾がある。これは、再生建材の面材・床材を使用しリフォームを行ったもので、図-4 に物件概要、図-5 に従来の建材使用の場合との廃棄物量・リサイクル量の比較を示す。マテリアル・リサイクルが 16 倍に増え、サーマル・リサイクルと廃棄物量がほぼ半減するシミュレーション結果となった。さらに改修工事において、従来と比較して約 40~50% の CO₂ 削減が見込まれる結果となった（図-6）。これらの結果は、木質バイオマスの都市部における長期貯蔵へ有効な方向性を示したものと考えられる。

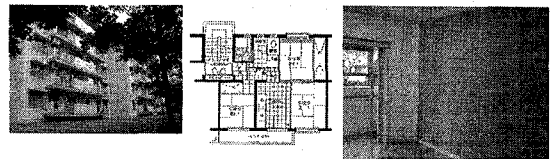


図-4 研究対象のストック集合住宅（左）とリユース可能な面材・床材を使用した居室（右）

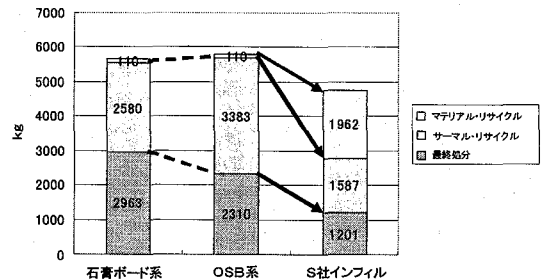


図-5 廃棄物量・リサイクル量の比較
(論文データをもとに筆者らが作成)

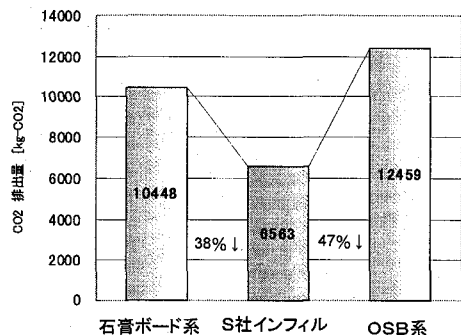


図-6 CO₂排出量の比較

5. 結論

本研究では、主に都市内に賦存する木質資源を対象として、既往の研究成果を多く概観する中で現状の施策・対策の調査を行い、特に再生建材化技術を中心とした循環利用技術の環境負荷削減効果を比較し、普及に向けた技術開発のポイントを提案した。

第一に廃木材の再生建材化技術について調査し、その課題を整理した。

第二に、再生建材化技術として代表的な技術であるパーティクルボードのインベントリを調査し、建設廃材、加工残材など、都市域に賦存する木質系バイオマスを対象として、環境負荷削減ポテンシャルを評価した。現在のストックされた建設廃木材の利用問題は、現在あるい

はこれから建設される建築物に用いられる木質建材の未来の姿を暗示する。

最後に、技術開発が環境負荷削減にもたらす定量的な効果を評価した。その結果、バックキャストिंगの視点から、技術開発のポイントとして、①低環境負荷の天然系接着剤の利用②リユース可能な内装建材の開発を提案し、その有効性を明らかにした。

今後の課題として、木質構造物に投入される木材のライフサイクル CO_2 を評価する上で、炭素固定効果、炭素吸収効果を含む長期間の炭素収支を考慮することが挙げられる。木材のライフサイクル CO_2 の評価対象を図-7に示す。炭素が樹木の成長時に蓄積された後、伐採・建材化によって固定される。伐採と同時に、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、構造物が解体された後に再生建材化されることによって、引き続き固定される。再生建材の再資源化の可能性を含め、これらの要素を考慮した評価を行うことが求められる。

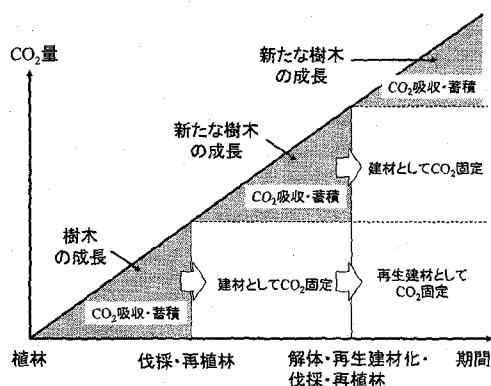


図-7 再生建材のライフサイクル CO_2 の評価対象

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) 村瀬 透, 松岡 譲, 藤原 健史：日本における人間活動に伴う物質の蓄積とそこからの廃棄物発生に関する研究, 環境システム研究論文発表会講演集, vol. 32, pp491-496, 2004
- 2) 星野陽介, 村野昭人, 鎌田みゆき, 藤田壮：解体廃木材のエンジニアードウッド化に伴う環境負荷削減効果の検討, 第34回環境システム研究論文発表会講演集, pp173-176, 2006
- 3) 村野昭人, 藤田壮：木質構造物のライフサイクル評価方法の検討, 土木計画学研究発表会講演論文集 vol. 35, 258, 2007
- 4) 奥彬：バイオマス～誤解と希望, 日本評論社, 2005
- 5) (財) 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)
- 6) 寺島敏, 加藤慶子, 服部順昭, 姫野富幸：パーティクルボードのインベントリ分析, 第2回日本LCA学会研究発表会講演要旨集, p 88-89, 2007
- 7) (独) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) <http://biomass.denken.jp/kinds/index.html>
- 8) 澤田幸伸, 安藤恵介, 服部順昭, 田村靖夫：木質材料に使われる接着剤のインベントリ分析, 木材学会誌, vol. 52, No4, p 235-240, 2006
- 9) (社) 産業環境管理協会：JEMAI-LCA Pro
- 10) (社) 産業環境管理協会：JEMAI-LCA Pro用オプション データパック
- 11) 吉田徹, 山口隆生, 金森道他：住宅のリフォーム時における内装材廃棄物削減に関する実験研究 その1 改修工事現場における内装材のリサイクル阻害要因の調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集, p 985-986, 2004

APPLICATION OF ENVIRONMENTAL SYSTEM THINKING ON ENVIRONMENTAL FRIENDLY WOODY BUILDING MATERIALS

Koshiro NAKAJIMA, Akito MURANO and Tsuyoshi FUJITA

This paper proposes the application of environmental system thinking on technology development for the promotion of wood resource recycling technologies in urban areas. Firstly, material recycling technologies for wood wastes are investigated. Secondly, the potential of environmental improvement for technology applications to woody biomass recycling such as construction and demolition wastes, processing residues and pruned branches is evaluated. Finally, quantitative environmental improvement effects from technology development are systematically organized..