

建材の資源循環を考慮した改修工事の環境影響評価

The Environmental Impact Assessment of Renovation Work in Consideration of Resource Circulation

学籍番号 47-216734
氏 名 松井 大岳 (Matsui, Hirotaka)
指導教員 清家 剛 教授

1. 序論

1.1. 研究背景・目的

国内の建設産業において、老朽化する既存建築物を適切に活用していく必要性がある。また近年では環境負荷削減も重要な課題であり、環境を配慮した建築生産を目指してライフサイクル（資源調達・生産～解体・再資源化のプロセス。以下 LC と略す）に係る環境負荷の評価が進められてきた。しかし、既存建物を活用する取り組みとして代表的な“改修工事”に着目した環境影響評価の手法は依然検討段階にある。

現在の改修工事においては、主に基礎・躯体部分は再活用される。一方、内装材や下地材は機能性・意匠性の観点から多くが刷新されるため、廃棄物として排出され環境に影響を与えることが懸念される。この環境負荷の削減にあたっては、廃棄物のマテリアルリサイクル(以下 MR)を行い、建設産業内で資源を循環させ、新たな資源投入量を削減することが重要である。そこで本論では、改修工事による資源の産業内循環の推進を目的とし、改修工事について建材の再活用と廃棄建材の MR に着目して環境影響評価を行った。本論において“MR”は、解体工程で発生した廃棄建材が同建材または他建材の原料として活用される“建設産業内での循環”を指す。

1.2. 研究方法

2 章にて、SRC 造中高層住宅(S 邸)および木造戸建住宅(B 邸)の改修工事について環境影響評価を行い、建替えと比較した場合の環境負荷削減効果を明らかにした。3 章にて、表 1 に示す木造戸建住宅(A,B,C 邸)の現場調査、および表 2 に示す各業者へのヒアリング調査を通して改修工事で発生する廃棄建材の性状・排出量などを把握するとともに、それらの再資源化処理の実態を整理した。そして、再活用される建材とあわせて“改修工事における建材の資源循環性”を評価した。以上を踏まえ 4 章にて、木造戸建住宅(A 邸)について、資源循環の水準ごとにシナリオを定め、改修工事の環境影響評価を行った。評価対象の物件を表 1 に示す。いずれも基礎・躯体部分を除く全面的な刷新を行う改修工事を対象とした。

表 1. 対象物件の概要

対象	構造	用途	延床	所在	築年	改修
S 邸	SRC 造 9 階	住宅	2595m ²	東京	49 年	全体
A 邸	木造戸建 2 階	住宅	101m ²	東京	33 年	一部
B 邸			149m ²	東京	46 年	全体
C 邸			143m ²	埼玉	54 年	一部

表 2. ヒアリング調査先一覧

業種	調査先	対象とした業務内容
住宅製造業	HA 社	新築・改修で発生した施工端材や廃棄建材の広域認定を用いた回収・処理
	HB 社	樹脂製建材の再資源化の取り組み
建材製造業	MA 社	板ガラスの再資源化の取り組み
産業廃棄物中間処理業	WA 社	廃棄建材の回収・処理
産業廃棄物収集運搬業	WB 社	石膏ボードの再資源化の取り組み
	WC 社	新築・改修・解体などで発生した施工端材や廃棄建材の回収・処理
	WD 社	

2. 改修工事の環境影響評価

2.1. SRC 造中高層住宅の改修工事の評価

S 邸について、改修工事と建替えとを比較した場合の環境負荷削減効果を評価した。両者の新規資源投入量を整理し、各資源に係る CO₂ 排出原単位を用いて計算を行った。結果、基礎・躯体の主な構成材料である鉄筋コンクリートの再活用が寄与し約 70% の CO₂ 削減効果を見込めた。一方、躯体以外の建材は、改修後の機能性・意匠性の観点から基本的に刷新され廃棄物として排出されるため、適切に処理を行う必要がある。

2.2. 木造戸建て住宅の改修工事の評価









増築が無く 1, 2 階ともに改修が行われた B 邸について 2.1 と同様に評価を行った。結果、基礎・躯体部分の再活用が寄与し約 50% の CO₂ 削減効果を見込めた。S 邸と比較すると効果が小さいが、これは既存建物を構成する内装材などの割合が大きいためである。以上 2.1・2.2 における評価では、LC の包括的な評価に適した建築学会の LCA データベースの CO₂ 排出原単位を用いた。(LCA: Life Cycle Assessment の略。ある製品の資源調達～廃棄までのプロセスに係る環境負荷を算出し評価すること)

3. 改修工事における資源循環

3.1. 廃棄建材の発生状況の把握

A, B, C 邸の現場調査を行い、発生した主な建材の性状・発生量・単品回収の可否について整理した。概要を表 3 に示す。排出量の多い建材は木材（下地材、間柱）・石膏ボード（内壁下地）、続いて外壁材・アルミ窓である。現場の敷地規模や運搬効率を考慮し適切な寸法に加工される場合が多い。一方、他の仕上げ材等の異物付着も見られ、特に粉碎状態のものは混合廃棄物としてまとめて保管される場合がある。

表 3. 改修工事で発生した廃棄建材の概要

	代表写真	改修工事現場での性状および発生量/単品回収		
木材		角材・板材・木製建具。釘、接着材、石膏ボード、壁紙、防水シートなどが付着。最も発生量が多くまとめて単品回収可能。	◎	
石膏ボード		内壁下地。モルタルや土、壁紙が付着。解体で粉碎されたものは性状確認が困難。発生量が多く2tトラックで分別回収可能。	◎	
がれき		窯業系サイディングや瓦等コンクリート系・がれき類。工事内容が発生量の有無を決め、まとめて発生することが多い。	○	
金属系		アルミサッシ・金具・建具など。サッシは手作業で解体され付着物が少なく、一定の寸法に切断された後まとめて排出される。	○	
ガラス		開口部の取り換えて発生。接着剤などの付着があるが、建具から手作業で外され破損が無く板の状態で排出される場合がある。	△	
プラスチック		壁紙・防音シート・塩ビ管など多種。各々の発生量は少なく異物付着や劣化が見られ混合廃棄物となるものが多い。	△	
断熱材		主にグラスウールと発泡系断熱材。解体材は異物付着と劣化が見られ、比重が小さく運搬効率が悪い。施工端材も僅かに発生。	△	
その他		各種仕上げ材や下地材など多種多様なものが少量ずつ発生。殆どは分別保管されず混合廃棄物としてまとめて排出される。	×	
凡例	発生量◎	工期を通して多量	◎	既に実現
	○	特定の工事内容で多量	○	一部で既に実現
	△	特定の工事内容で少量	△	収集先で選別可能
	×	発生しない場合がある	×	収集先で選別不可能

3.2. 廃棄建材の処理実態の把握

ヒアリング調査に基づき、改修工事で発生する廃棄建材の現状の処理フロー[A] (図 1) 及び、詳細に廃棄建材の分別回収を行う理想のフロー[B] (図 2) を作成し処理実態を把握した。結果、表 3 の性状の木材・石膏ボード・金属系建材について既に MR が進んでおり、ガラスは MR の技術・仕組みが検討段階にあることが明らかとなった。

3.3. 改修工事における資源循環性の評価

3.1・3.2 に基づき、改修工事で再活用および廃棄される各建材について表 4 のように資源循環性の水準ごとに実現可能性を評価した。資源循環性は、建材のそのまま



図 1. 現状の処理フロー[A]の概要



図 2. 理想の処理フロー[B]の概要

の再活用が最も高水準で、続いて廃材の MR、廃材の他産業での活用である。既に一部で MR が実施されている木材・石膏ボード・アルミサッシは以下の課題の改善によりさらに MR を推進できると考えられる。

(1) 現場・収集運搬における課題：廃棄建材への付着物が多いため分別の負荷が大きく、処理コスト増加の要因となっている。また、都内の木造戸建の敷地において工事中の廃材の分別保管場所を十分にとれない場合が多く、適切な分別と効率の良い収集運搬の仕組みの構築が課題である。

(2) 中間処理以降における課題：高度な再資源化技術を持つ処理業者は廃棄建材の受け入れ基準を設けている場合が多く、主な処理対象は施工端材のような発生時点での異物付着が少ないものや、解体材でも中間処理を介したものである。また、一定の性

状のものの供給の安定性も処理の可否を決める主要因である。さらに、解体業者などの裁量で廃棄建材の委託先が決まるため、排出側と処理側の連携が希薄であり適切に処理されない場合があることも課題である。

4. 建材の資源循環を考慮した改修の評価

4.1. 評価方法

建材の資源循環を考慮して、一階のみ改修が行われた A 邸を対象として評価を行った。まず A 邸の BIM モデルを作成し、既存建物への資源投入量・改修による再活用量を建材ごとに表 5 のように整理した。次に表 6 に示す評価シナリオを定め、表 7 に示す建材の資源循環(改修による再活用と 3.3 に基づいた廃材の MR 率)を考慮した改修工事について、LCA データベース IDEA より MR 由来の再生原料を一定量用いた再生建材に係る CO₂ 排出原単位を作成し評価を行った。評価対象は発生量が大きい建材(表 3 参照)および改修工事における中・高水準の資源循環性に対し一定の実現可能性を見込めた建材(表 4 参照)である木材・石膏ボード・アルミ・ガラス・コンクリート系建材・窯業系サイディングとしている。CASE II, III では改修工事で発生した廃棄建材の 50%(ガラスは MR の検討段階のため 30%)を再生原料として投入できた場合の再生建材に係る CO₂ 排出原単位、CASE IV では 100%(ガラスは 60%)投入した場合の再生建材に係る CO₂ 排出原単位を作成した。

表 4. 改修における資源循環の実現可能性

水 準	実 現 性		具体的な活用方法
	高	中	
木 材	高	中	改修工事範囲内における大幅な再活用
	中	中	廃材のパーティクルボード・製紙への MR
	低	高	廃材のバイオマス発電用材料としての熱利用
石 膏 板	高	低	改修工事範囲外における再活用
	中	中	廃材の石膏ボードへの MR
	低	高	廃材のセメント用原料・他製品への CR
金 属 系	高	中	バルコニー等大型の建具の再活用
	中	中	廃材のアルミサッシへの水平リサイクル
	低	高	廃材の他産業のアルミ製品への CR
が れ き	高	中	改修工事範囲内における大幅な再活用
	中	-	廃材の MR は現時点ではかなり難易度が高い
	低	高	廃材の骨材・砂・砕石・路盤材への CR
ブ ラ	高	低	改修工事範囲外における再活用
	中	低	特定の PVC 製建材のみの部分的な MR
	低	低	可燃用材料(RPF 等)としての熱利用
断 熱 材	高	低	改修工事範囲外における再活用
	中	低	発泡系断熱材のみ施工端材の同建材への MR
	低	-	最終処分されるものがほとんどである

CR:カスケードリサイクル
実現性：実現可能性

表 5. 既存建物への資源投入量と改修工事による廃棄物量・再活用量

単 位		木 材		石 膏 板		ア ル ミ	ガ ラ ス	コ ン ク リ ー ト 系		窯 業 系 サ イ デ ィ ン グ	
		m ³	kg	m ³	kg	kg	kg	m ³	kg	m ³	kg
改修範囲内	廃棄	3.25	1622.75	1.55	1082.05	244.20	493.35	1.14	2617.40	0.37	269.83
	再活用	9.48	4740.30	0	0	0	0	4.42	10172.9	0.66	478.73
改修範囲外	再活用	8.10	4049.00	1.79	1249.11	955.80	0	0	0	1.28	930.62
	全体の再活用量	17.58	8789.30	1.79	1249.11	955.80	0	4.42	10172.9	1.94	1409.35
既存建物の全資材量		20.82	10412.1	3.34	2331.17	1200.00	493.35	5.56	12790.3	2.32	1679.18
改修範囲の再活用率		74%		0%		0%	0%	80%		64%	
全体の再活用率		84%		54%		80%	0%	80%		84%	

そして、環境負荷削減効果を整理した各建材の資源投入量を用い下式より算出した。

$$P = \sum_m \left[(Q_{reuse}^m \times U_{virgin}^m) + (Q_{waste}^m \times (U_{virgin}^m - U_{y\%,recycle}^{x,m})) \right]$$

P :改修工事による環境負荷削減効果(t-CO₂)
 Q_{reuse}^m :改修工事における建材 m の再活用量
 Q_{waste}^m :改修工事における建材 m の廃棄物量
 U_{virgin}^m :バージン材のみを利用して製造された建材 m に係る CO₂ 排出原単位
 $U_{y\%,recycle}^{x,m}$:CASEX における、MR 材を y% 利用して製造された建材 m に係る CO₂ 排出原単位

4.2. 資源循環を考慮した改修の評価結果

改修工事における建材の再活用および発生する廃材の MR を考慮し環境負荷削減効果を評価した。表 8 に示す通り、改修工事範囲内のみに着目した場合、CASE I (再活用による寄与のみ) で 2.1t-CO₂(28%)、CASE II (廃材の MR による寄与のみ) で 1.6t-CO₂(21%) の削減となり近い値となった。また CASE III (再活用と廃材の MR による寄与の両方を考慮) で 3.6t-CO₂(49%)、CASE IV (さらに廃材の MR 率を高めた場合) で 5.8t-CO₂(78%) の削減となり廃材の MR による寄与が示唆された。建築物全体における削減効果は CASE I で 17.5t-CO₂(77%) となったが CASE II では 1.6t-CO₂(7%) にとどまった。再活用および廃材の MR による寄与の両方を考慮すると、A 邸のような部分的な改修工事では CASE III で 19.1t-CO₂(84%)、CASE IV で 21t-CO₂(93%) と高い削減効果を見込めることが明らかとなった。

表 6. 評価シナリオの概要

CASE I	改修による再利用率のみを考慮
CASE II	発生した各廃材の MR 率のみを一部考慮
CASE III	改修による再利用率を考慮・廃材の MR 率を一部考慮
CASE IV	改修による再利用率を考慮・廃材の MR 率をさらに考慮

表 7. 再利用率とシナリオの MR 率・原単位

	再利用率 ¹		MR 率 ¹ と CO ₂ 排出原単位 ²							
	着手	全体	I	II	III	IV				
木材	74	84	- ³	-	-	-	-	-	-	-
石膏ボ	0	54	-	-	50	0.35	50	0.35	100	0.10
アルミ	0	80	-	-	50	9.23	50	9.23	100	1.83
ガラス	0	0	-	-	30	0.52	30	0.52	60	0.41
コンクリ	80	80	-	-	-	-	-	-	-	-
窯業サ	64	84	-	-	-	-	-	-	-	-

1.単位:% 2.単位:kg-CO₂/kg 3.「-」は 0 に設定した値。

5. 結論

本論では、改修工事を資源循環の観点から評価し、廃材の MR の必要性を示唆することができた。また MR される廃材の割合を高めるにあたる課題は以下 2 点である。

- ・発生段階：詳細な分別とまとめた排出
- ・処理段階：廃棄建材の効率的な回収

以上を行い、各建材の MR の技術を有する主体へ良い性状の廃材を一定量、安定的に供給する必要がある。特に都内の戸建住宅の工事においては、解体業者・産業廃棄物収集運搬・処分業者間の情報共有が最も重要である。処理業者は受け入れる性状の基準を、解体業者は解体工程・箇所などを共有し、計画的に分別と排出先の選定を行うことが重要である。また、今後資源循環を考慮して改修工事の評価を行う場合、再活用された建材の寿命や複数回の修繕・改修などを考慮して評価しなければならない。

表 8. 建材の資源循環を考慮した改修工事の環境影響評価結果

改修範囲内 のみに着目	木材		石膏ボード		アルミ		ガラス		コンクリート系		窯業サイディング		合計	
	削減量 ¹	削減率	削減量	削減率	削減量	削減率	削減量	削減率	削減量	削減率	削減量	削減率	量	率
CASE I	665.41	58%	0	0	0	0	0	0	1246	80%	168	64%	2079	28%
CASE II	0	0	263	41%	1137	34%	163	39%	0	0	0	0	1563	21%
CASE III	665.41	58%	263	41%	1137	34%	163	52%	1246	80%	168	64%	3641	49%
CASE IV	665.41	58%	528.0	82%	2944	88%	218	52%	1246	80%	168	64%	5769	78%
建築物全体 に着目	木材		石膏ボード		アルミ		ガラス		コンクリート系		窯業サイディング		合計	
	削減量	削減率	削減量	削減率	削減量	削減率	削減量	削減率	削減量	削減率	削減量	削減率	量	率
CASE I	1658.5	78%	774	54%	13272	80%	0	0	1246	80%	588	84%	17537	77%
CASE II	0	0%	263	19%	1137	7%	163	33%	0	0	0	0	1563	7%
CASE III	1658.5	78%	998	73%	14410	86%	163	33%	1246	80%	588	84%	19063	84%
CASE IV	1658.5	78%	1301	92%	16216	97%	218	44%	1246	80%	588	84%	21228	93%

1.単位:kg-CO₂