

廃棄物減量策としての民家再生の評価

～廃棄物の減量効果と他の環境負荷・コストに関するケーススタディー

Assessment of House Renovation as A Waste Reduction Method :

Case Study on Waste Reduction, Other Environmental Loads and Cost

橋本征二* 宮松一朗** 寺島泰*

Seiji HASHIMOTO, Ichiro MIYAMATSU and Yutaka TERASHIMA

ABSTRACT : Regarding a house renovation as a waste reduction method, amount of waste reduction, other environmental loads and cost were investigated in one renovation case. As a results, 1) about 30% waste reduction was observed, 2) not only waste but materials and energy input reduction were observed by 30% and 60% for each, 3) cost was also reduced. These results mean that house renovation is not only waste reduction but materials and energy saving method, and that it could also reduce building cost.

KEYWORDS : construction waste, demolition waste, waste reduction, house renovation, LCA

1 はじめに

建築物の解体・更新に伴って発生する廃棄物は、今後増加することが予想される(橋本ら 1997a) が、これに対処するにはまず、その発生を建築物の長寿命化などにより抑制し、次に発生した廃棄物についてはできるだけリサイクルすることが必要である。しかし、長寿命化やリサイクルについては、それによって廃棄物が抑制される反面、別の環境負荷が新たに生じることも考えられる。よって、これらについては環境面からの評価が必要であろう。

本稿は、建築物長寿命化の一つの事例として民家再生を取り上げたものである。民家の保存や再生は今日の建築界においても注目を浴びているが、これは、住宅建築の工業化によってもたらされた貧困な都市景観に対する反省という視点で捉えられることが多い。しかし、住宅としての機能を終えつつある、あるいは既に終えた民家に対して大規模に手を加え再び住宅として生き返らせる技術は、今日の廃棄物問題に対して一つの解答を示しているといえよう。民家再生により廃棄物はどのくらい減るのか、廃棄物は減るが別の環境負荷はどうなるのか、また、民家再生は一般的な解体新築工事と比較して本当にコストがかかるのか。本稿は、実際に行われた民家再生物件について、その廃棄物の減量効果と他の環境負荷・コストに関して調査したケーススタディーである。

2 民家再生物件の概要

民家再生の事例として取り上げるのは、京都市のM邸である。旧M邸は、1917年に建築され、1965年に1階部分を増築、1968年にはさらにその2階部分が増築されることで完成したが、老朽化・設備の陳腐化などが進んでいることから立て替えられることとなった。その際、長年住み続け、深い愛着のある旧邸の面影をなるべく残して欲しい、旧邸に使われている部材のうち可能なものはなるべく残して新しいものを建てて欲しい、という施主の強い希望があり、旧邸の中でもまだ使用に耐える部分は、部材単位で新邸において

* 京都大学大学院工学研究科環境工学専攻 Graduate School of Kyoto University

** 山陰合同銀行 San-in Godo Bank

そのまま用いる設計がなされた。新邸の床面積が表1である。新邸は大きく改修部と改装部及び新築部に分けられる。改装部は、基本的に旧邸がそのまま残される部分、改修部は柱梁等の構造材を基本的に残しながら、壁の配置と床、天井の作りを新しくする部分、新築部は旧邸を全面的に解体し、新たに建築される部分である。工事は1997年11月19日から開始された。竣工は1998年6月1日である。

3 評価の方法

3.1 評価の枠組

上記の民家再生工事（以下「再生工事」）は、これが行われなければ旧邸を全面解体して、更地に新しく建築する工事（以下「立替工事」）が行われたであろう。本稿では、立替られた場合に新邸と全く同じものが建つことを想定して、これを比較対象として再生工事の評価を行う。

3.2 評価の項目

再生工事は、立替工事に比較して次のような項目に影響を及ぼすと考えられる。以下、図1の番号に従って影響を整理する。

- 解体廃棄物発生量への影響 改装部・改修部においてそのまま利用される部材(①)は、立替工事の場合は廃棄物として排出されるものであり、その部材分だけ廃棄物量が減る(②' > ②)。
- 新築廃棄物発生量への影響 資材の加工等により発生する廃棄物量は、改装部・改修部においてそのまま利用される部材(①)分だけ資材投入量が減るため、それに比例する形で減る(③' > ③)。なお、本稿では資材・設備機器等の梱包材について考慮しない。
- 資材投入量への影響 改装部・改修部においてそのまま利用される部材(①)分だけ資材投入量が減る(④' > ④)。
- 解体エネルギー投入量への影響 立替工事の場合は重機を用いた機械解体が行われるが、再生工事の場合は人手による手解体が行われる。機械解体の場合は重機、手解体の場合はエンジンカッターやチェーンソーといった手持ちの機械に燃料が必要となる。全体として消費量が減るか増すかは定かでないが何らかの影響を受ける(⑤ ⇔ ⑤')。
- 新築エネルギー投入量への影響 現場等で用いられる工具の燃料は資材投入量が減る分、それに比例する形で減る(⑥' > ⑥)。
- 解体コストへの影響 改装部・改修部においてそのまま利用される部材(①)分だけ廃棄物量が減るため、その処分費が減る。一方、手解体は機械解体に比較して工期が長期化するうえ、残す部分と壊す部分を正確に把握し解体する技術が必要となるため、人件費が増す。全体としてコストが減るか増すかは定かでないが何らかの影響を受ける(⑦ ⇔ ⑦')。
- 新築コストへの影響 改装部・改修部においてそのまま利用される部材(①)分だけ資材投入量が減るため、その資材費が減り、また、残存部分の工事が不要になるためその分の人件費は減る。一方、再生工事

表1 新邸床面積

	改修部	改装部	新築部	計
1階 (㎡)	32.59	46.57	39.45	118.61
2階 (㎡)	65.15	0.00	13.30	78.45
計 (㎡)	97.74	46.57	52.75	197.06
改修部 1階	玄関 玄関ホール 茶の間 化粧軒天井 (東西縁側外部)			
2階	新築部 (下記) を除く全て			
改装部 1階	取次 次ノ間 座敷 縁側 (東、西)			
新築部 1階	居間兼食堂 台所 洗面脱衣洗濯室 浴室 便所 (北西部)			
2階	主寝室 (南東部) 便所 (北西部)			

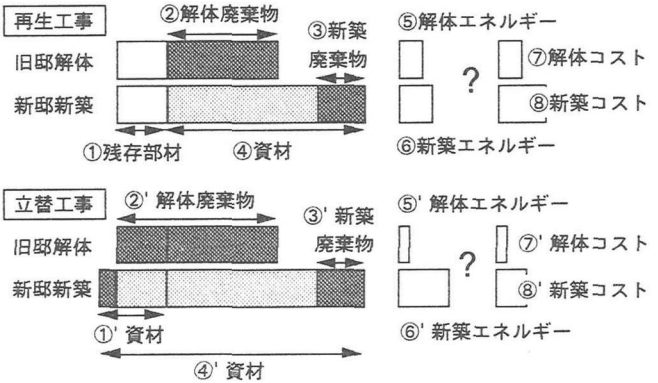


図1 再生工事と立替工事の比較

には高度な技術を要すると共に工期が長期化するため人件費が増す。コストが減るか増すかは定かでないが何らかの影響を受ける (⑧⇔⑧')。

本稿では、影響があると考えられる以上の項目、すなわち、廃棄物発生量、資材投入量、エネルギー投入量、コストについて調査と試算を行う。

3.3 調査と試算の方法

図1の番号に従って、以下に調査と試算の方法を述べる。調査は実際に行われた再生工事で行い、比較対象となる立替工事はこれに、見積書、設計図、業者へのヒアリング等を加え試算した。家を建設するためには多種多様な資材が投入されるが、本稿では躯体の長寿命化の評価を行うことから、躯体に関係する主要な資材として木材、コンクリート、壁土、瓦を取り上げる。

①残存部材 再生工事の残存部材 (①) は、実測図および設計図から部材を一つずつ拾い出し体積を算出した。木材、基礎コンクリートについてはその縦横厚みから算出した。また、壁土については壁面積に壁厚をかけることで、瓦については屋根面積に瓦厚をかけることで算出した。さらに、木製建具について、その縦横厚みから体積を算出した。立替工事の資材 (①') は、木材については、継ぎ手、仕口を加工するための余裕が必要なことから、残存部材 (①) より多めになる。この影響を考慮して体積を求めた。また、基礎コンクリート、壁土、瓦については①=①' と考える。

②解体廃棄物 再生工事の解体廃棄物 (②) は、現場に立ち会い、排出される廃棄物量を調査した。トラックの縦横の長さを予め計っておき、それに搬出毎に調査した荷高さをかけることで体積を算出した。廃棄物の種類は、現場での分類に即して可燃・不燃の2分類とした。立替工事の解体廃棄物 (②') は、調査した解体廃棄物 (②) に残存部材 (①) を加えることで算出した。なお、②と①では測定の精度が異なるためこれについては後に検討する。

③新築廃棄物 新邸に投入される木材は工務店の工場で表面にかんなをかけられ設計図通りに継ぎ手、仕口を刻まれる。図面から読みとることが出来る木材の加工は、工場で済ませた状態で現場に搬入されるため、現場では殆ど木くずは発生しない。従って、再生工事の新築廃棄物 (③) は、工務店の工場において発生する木くず量を調査した。それらの木くずはK大学の馬術部が再利用するため袋に入れて工場にストックしておくことになっている。予め一袋の大きさと重さを測定しておき、袋の数から新築廃棄物としての体積と重量を算出した。立替工事の新築廃棄物 (③') は、調査した新築廃棄物 (③) と後述する再生工事に必要な資材 (④) から資材あたりの廃棄物原単位 (③/④) を求め、これを後述する立替工事に必要な資材 (④') に乗ずることで求めた。

④資材 再生工事の資材 (④) は見積書より算出した。木材については、縦横長さから体積を算出した。コンクリートについては、記載してあった体積、壁土については、壁面積に壁厚をかけることで算出した。立替工事の資材 (④') は、算出した資材 (④) に残存部材から算出した新たな資材 (①') を加えることで求めた。

⑤解体エネルギー 再生工事の解体エネルギー (⑤) は、解体で用いられた手持ちの工具 (エンジンカッター、チェーンソー) への投入燃料、および裏部分の基礎の解体に用いられた小型のバックホー (バケット容量.06クラス) への投入燃料を調査した。立替工事の解体エネルギー (⑤') は、解体業者へのヒアリングからバケット容量が.25クラスのバックホーを用いて解体することを想定し、消費される燃料を算出した。最後にこれらをエネルギー量 (kcal) に換算した。

⑥新築エネルギー 再生工事の新築エネルギー (⑥) は、工事に用いられる木材が加工された1998年1月の一ヶ月間の電力消費量を調査した。立替工事の新築エネルギー (⑥') は、調査した電力消費量 (⑥) と再生工事に必要な資材 (④) から資材あたりの電力消費原単位 (⑥/④) を求め、これに立替工事に必要な資材 (④') に乗ずることで求めた。最後にこれらをエネルギー量 (kcal) に換算した。

⑦解体コスト 立替工事の解体コスト (⑦') は、解体業者から床面積あたりの解体費、廃材運搬処分費、ガ

ラ及び基礎撤去処分費などについてヒアリングし、見積もりを行った（⑦'）。

⑧新築コスト 立替工事の新築コスト（⑧'）は、再生工事見積書の以下の項目に手を加え、見積もった。

- 1) 建築主体工事：土工・コンクリート工事 費用は材工共となっている。再生工事の見積もりを残存している基礎コンクリート量に比例させて増額し、立替工事の費用を求めた。
- 2) 建築主体工事：木工事 ●木材費：まず、木材の建築部位別の平均的な単価を見積書から算出し、これに残存している建築部位別の木材量を乗じて、これを再生工事の木材費に加算して立替工事の木材費を求めた。 ●大工施行手間：再生工事においては新築部分と改修部分で床面積あたりの大工施行手間異なる。そこで、見積書から算出した新築部分の床面積あたりの大工施行手間に新邸の延床面積を乗じ、立替工事の大工施工手間を求めた。
- 3) 建築主体工事：瓦工事 費用は屋根面積あたりで計算される。新邸の屋根面積から立替工事の費用を求めた。
- 4) 建築主体工事：左官工事 費用は壁面積あたりで計算される。残存している壁面積を再生工事の壁面積に加算して立替工事の費用を求めた。
- 5) 建築主体工事：木製建具工事 まず、木製建具の種類別の平均的な単価を見積書から算出し、これに残存している木製建具を乗じて、これを再生工事に加算して立替工事の費用を求めた。
- 6) 諸経費・消費税 諸経費は工事費にある割合を乗ずることで計算される。上記の作業で得られた立替工事の工事費から諸経費を求めた。また、これに消費税を加算した。

4 結果と考察

4.1 廃棄物の減量効果

立替工事の解体廃棄物量（②'）は、再生工事の解体廃棄物量（②）に図面から見積もった残存部材（①）を加えることで算出するが、両者の測定精度が異なるために、単純に加算することはできない。なぜなら、前者はトラックに荷積みされた見かけの体積を調査しているのに対し、後者は図面から算出した実際の体積を見積もっており、廃棄物として荷積みされ搬出される際の空隙が含まれないからである。そこで、解体廃棄物の原単位に検討を行った上で、結果を考察する。

1) 解体廃棄物原単位の検討

表2の第2列・補正前は両者を単純に加算し床面積あたりの廃棄物発生量を求めたものである。筆者らが別項で設定した解体廃棄物の原単位（橋本ら1997b）と比較すると、可燃廃棄物については信頼区間の中に入ってくるが、全廃棄物については大きくはずれることが分かる。

そこで、可燃の残存部材である木材について、これに杉の比重0.45を乗じて重量に換算し、さらに可燃廃棄物の見かけ比重0.2286（橋本ら1997b）で除して再び体積に換算し直す作業を行った。また、不燃の残存部材（コンクリート、壁土、瓦）についても可燃と同じ空隙率（ $=0.45/0.2286$ ）であるとして換算した。結果が表3の第3列・補正後である。これで、全廃棄物の原単位も信頼区間ぎりぎりの値となる。考察には補正後の値を用いる。

表2 解体廃棄物原単位の比較

		立替工事の原単位		橋本(1997b)の原単位	
		補正前	補正後	平均	信頼区間
可燃	(m^3/m^2)	0.35	0.43	0.40	± 0.06
不燃	(m^3/m^2)	0.30	0.35		
計	(m^3/m^2)	0.65	0.78	0.94	± 0.14

注) 信頼区間は原単位の95%区間推定値

2) 減量効果

図2のように全体で33%の減量効果、解体・新築廃棄物とも同等の減量効果が認められた（体積ベース）。

ここで、今回行われた民家再生の「再生率」を床面積で定義してみる。この場合、旧邸の床面積に対する新邸の改装部の床面積比率20%と、改装部+改修部の床面積比率61%が考えられるが、今回の廃棄物減量率33%は、改装部の床面積比率に近い値となっている。仮に改装部の部材が全て残り、改修部の部材が半

分残ったとすると、41% (= 20 + 41/2) の減量効果が期待できるはずであるが、実際の効果はそれより小さい結果となった。減量効果については、このような「再生率」によっても異なってくるものと考えられるため、より多くの事例をもとにその効果を再生率との関係から定量的に把握する必要がある。「再生率」は以下で検討する資材投入量や、エネルギー投入量にも影響を与える。

4.2 資材投入量への影響

図3のように全体で28%の減量効果が認められた(体積ベース)。これは、民家再生が廃棄物減量策としてだけでなく、資源節減策としても有効であることを示すものである。

木材、壁土、瓦(それぞれ35、28、37%の減量)に比較してコンクリートの減量効果が低くなっている(9%の減量)が、これは新築部分の基礎が布基礎なのに対し、残存部分の基礎が独立基礎なためである。実際に立替工事が行われるとすれば、残存部分も同じく布基礎になると考えられるが、本稿では再生工事と同じものが建つことを仮定しているためこのような結果となった。

4.3 エネルギー投入量への影響

図4のように全体で59%の減量効果が認められた。これは、民家再生が廃棄物減量策としてだけでなく、エネルギー資源節減策としても有効であることを示すものである。

新築エネルギーについては、木材投入量に比例するので減量(38%)して当然だが、解体エネルギーについては、再生工事が手解体で行われることから大きな減量(85%)が見られる。手解体を行う際の人間の労働をエネルギーに含めるか否か、含めるならどのように含めるか、といったことはそれ自体大きな課題だが、仮に成人1日当たりのエネルギー摂取量(2,000kcal)を人間の1日当たりの労働エネルギーとして計算すると図5の結果となる。この場合、全体で46%の減量となるが、手解体によっても全体に与える影響は小さいことが分かる。

4.4 コストへの影響

図6のように全体で5%の削減効

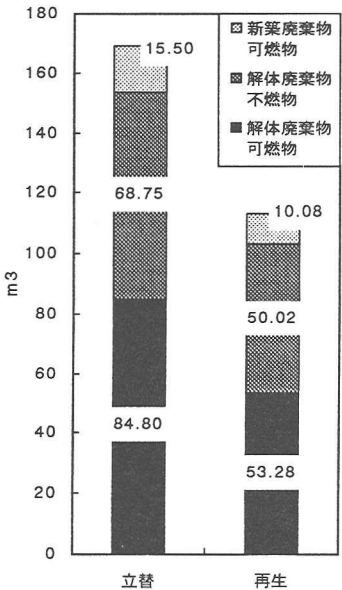


図2 廃棄物の減量効果

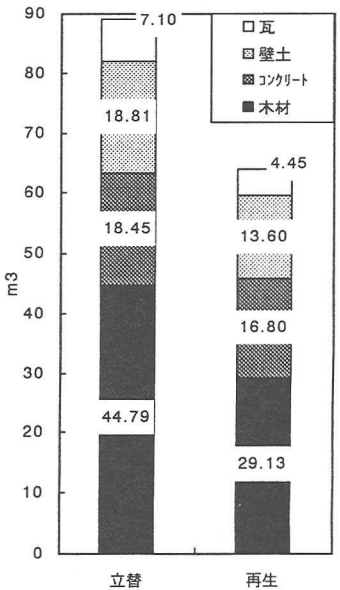


図3 資材投入量への影響

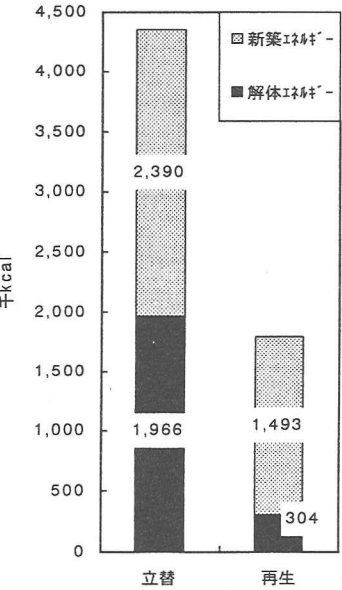


図4 エネルギー投入量への影響1

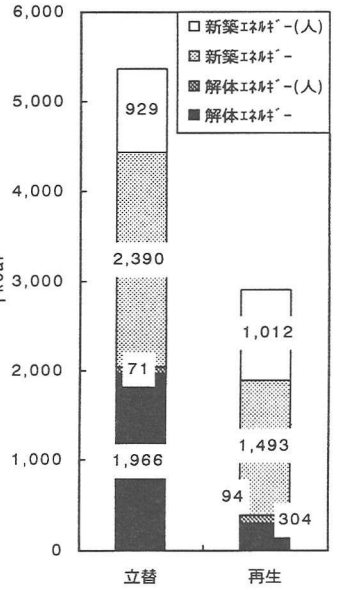


図5 エネルギー投入量への影響2

果が認められた。これは一般に民家再生が高くつくと言われていることに反する結果である。

図7は、上方向にコスト増、下方向にコスト減となった工事項目を示したものである。民家再生によって解体工事、木工事・大工施工手間など人件費に関わるコストは確かに増加する。しかし、木工事・木材費を中心として資材の費用が大幅に削減されることから、これらを総合すると民家再生の方が安くつく結果となっている。特に、木工事・木材費が非常に大きく効いていることが注目になる。

ただし、この結果を解釈する際に注意すべき点がある。それは、

「民家再生で得られる住宅と全く同じ住宅を更地から建てるなら」という比較の条件である。一般に民家再生が高くつくと言う場合には比較している対象が明らかではない。プレハブなどの安価な住宅を想定していることが多いだろう。しかし、「民家再生で得られる住宅と全く同じ（趣のある）住宅」を得ようと思うと、民家再生の方が安くなる可能性は充分あるのである。

5 おわりに

最後に、結論と今後の課題についてまとめる。民家再生を廃棄物減量策の一つとして位置づけ、廃棄物の減量効果と他の環境負荷・コストについてケーススタディーを行った結果、次の結論を得た。

- 1) 30%程度の廃棄物減量効果が認められた。
- 2) 廃棄物発生量だけでなく、資材投入量、エネルギー投入量においても30%、60%程度の減量効果が認められた。これは、民家再生が廃棄物減量策としてだけでなく、資源節減策としても有効であることを示すものである。
- 3) コストにおいても削減効果が認められた。民家再生は一般に高いと言われているが、必ずしもそうならない可能性を示すものである。

建築物は様々であり、再生の方法も様々である。今後の課題は、今回のようなケーススタディーを重ね、どのような再生工事がどのような環境負荷を伴ってどのくらいのコストでできるのか、一般性のある結論を導き出すことである。

謝辞

調査に際しては、古材バンクの会・滝澤雄一郎一級建築士、施主夫妻、あざみ工務店・村上孔子代表取締役および現場の方々に多大なご協力を頂いた。ここに記して深謝する次第である。

参考文献

橋本征二、寺島泰 (1997a) 建築物の解体により発生する廃棄物量の将来予測、土木学会第34回環境工学研究フォーラム講演集、pp.109-111
橋本征二、寺島泰 (1997b) 建築物の解体により発生する廃棄物の原単位、第8回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp.16-18

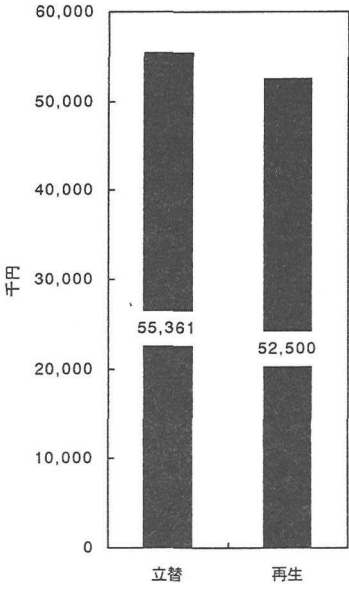


図6 コストへの影響

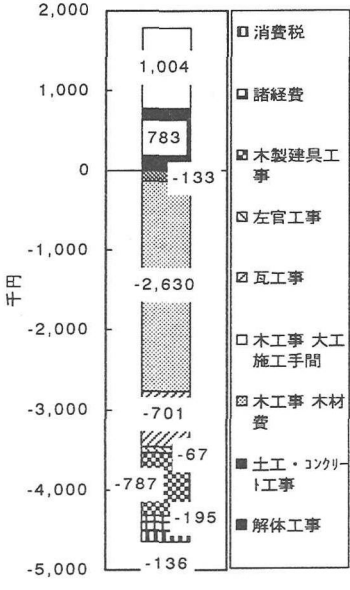


図7 コスト増減の内訳