

廃棄物減量策としての民家再生の評価

～2つの事例における間接的影響も含めた環境負荷削減効果～

Evaluation of Old House Renovation as a Waste Reduction Method :

Effectiveness of both direct and indirect environmental load reductions in two cases

橋本征二* 河野雄一郎** 寺島泰*

Seiji HASHIMOTO, Yuichiro KONO and Yutaka TERASHIMA

ABSTRACT : Effectiveness of both direct and indirect environmental load reductions were investigated in two actual old house renovation cases. Conclusions are as follows : 1) waste reduction was observed by around 20% in the case of renovating at the same spot (case A), and a few % in the case of renovating at the different spots (case B), 2) not only waste but other environmental load reductions were observed by 5~20% in the case A, and a few % in the case B, 3) the system that makes it possible to stock the recyclable materials and to reuse them at appropriate house renovations and constructions is necessary to rise the effectiveness of waste reduction.

KEYWORDS : construction waste, demolition waste, old house, old house renovation, life span

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¹⁾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サイクルすることが必要である。しかし、長寿命化やり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と考えられる。よって、これらについては環境面からのLCA的な評価が必要であろう。本稿は、前稿²⁾に続き、建築物長寿命化策の一つとして民家再生を取り上げ、これを環境負荷の側面から評価したものである。新たに1事例を追加し、産業連関法により作成した原単位を用いて間接的影響も含めた検討を行った。

2. 対象事例の概要

民家再生には様々なケースがあるが、大まかに分類すると、現地再生と移築再生とに分けられよう。今まで建物があつた敷地で、既存の建物を利用しながら新しい建物を建てるのが現地再生であり、建物を全面的に解体して、資材を別の場所に輸送し、そこで新しい建物を建てるのが移築再生である。本稿では、前稿で取り上げた現地再生に加え、移築再生を新たな事例として取り上げた。

1) 現地再生事例 (京都市K邸)²⁾

K邸は旧K邸の一部を解体、一部を再生して1998年に新築された。旧K邸(延床面積235m²)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建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、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、新邸(同197m²)においてそのまま用いる設計がなされた。

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

** 京都大学工学部 Kyoto University

2) 移築再生事例(和歌山市W邸) W邸は、八尾市の旧Y邸を解体して得られた構造材を用いて1999年に新築された。旧Y邸(同175m²)は、築後約150年と推定される比較的大規模の大和棟民家(農家)であった。W邸(同154m²)は、平屋建てであった旧Y邸骨組みを利用し、その上に2階を付け加える形で設計がなされた。旧Y邸の構造材のうち一部の部材は虫食いなどによって再利用が不可能であったが、その部分には別の部材を転用するなどできるだけ多くの古材が使われるような配慮がなされた。

3. 評価の方法

3.1 評価の枠組

上記の現地再生工事が行われなければ、旧K邸は全面解体され、更地に新しく新築する工事(以下「建て替え工事」と表記)が行われたと考えられる。また、移築再生工事が行われなければ、Y邸の古材も廃棄され、W邸では新材を用いた新築工事(以下「解体新築工事」と表記)が行われたと考えられる。そこで、図-1のように、再生工事に対して上記のような通常工事を想定し、これを比較対象として評価を行った。なお、通常工事にあたっては、再生工事が行われた場合と同じ建物が、新材を用いて建てられると考えた。

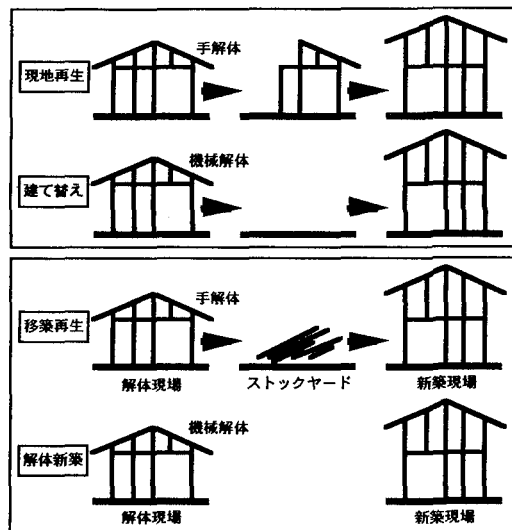


図-1 評価の比較対象

3.2 評価の項目

発生廃棄物、埋立廃棄物のほか、投入される資源として原料炭、一般炭、原油、LNG、天然ガス、鉄鉱石、石灰石、骨材、木材及びエネルギー消費量を、排出される廃物としてCO₂、SOx、NOx排出量を取り上げた。

3.3 環境負荷の計算方法

(1) 積み上げ法と産業連関法

ある製品や活動の環境負荷を把握する手法としては、積み上げ法と産業連関法があるが、本稿では2手法を併用し、積み上げ法で算出する負荷を「直接負荷」、産業連関法で算出する負荷を「間接負荷」と称する。なお、プラントの建設・各種機器の製造など資本財生産に関わる負荷について、本稿は考慮しない。

(2) 直接負荷の調査と計算の方法

調査は実際に行われた再生工事で行い、比較対象となる通常工事は、これに見積書、設計図、業者へのヒアリング等を加え計算した。

1) 再利用資材 再生工事の再利用資材(木材、コンクリート、壁土)量は、実測調査及び設計図から資材を拾い出し計算した。通常工事にあってはこれらが新材として投入されることとなるが、木材については、継ぎ手、仕口を加工するための余裕を持たせて見積もった。

2) 廃棄物 再生工事の解体廃棄物量は、現場でトラックに荷積みされて搬出される廃棄物の体積を調査し、これを廃棄物の見かけ比重³⁾を用いて重量に換算した。通常工事の解体廃棄物量は、調査した再生工事の廃棄物量に再利用資材量を加えることで算出した。再生工事の新築廃棄物量は、工務店工場で継ぎ手、仕口を刻む際に発生する木くず量を調査した。通常工事の新築廃棄物量は、調査した再生工事の廃棄物量と再生工事に必要な木材量から単位木材あたりの廃棄物原単位を求め、通常工事に必要な木材量に乗ずることで計算した。また、現場で発生する建築系混合廃棄物については、既存の発生原単位⁴⁾を用いた。埋立廃棄物量は、可燃廃棄物については熱灼減量率を10%とし、不燃廃棄物はそのまま最終

処分するものとして計算した。

3) 投入される資源 再生工事のエネルギー消費量は、工務店工場で使用された電力、現場で用いられた小型のバックホー及び工具に使用された燃料と電力を調査し、また、木材や廃棄物が実際に輸送された距離から必要燃料を計算し、係数⁵⁾を用いてエネルギー量に換算した。通常工事のエネルギー消費量は、再生工事において工務店工場で使用された電力と再生工事に必要な木材量から単位木材あたりの電力原単位を求め、通常工事に必要な木材量に乗ずることで必要電力を計算し、また、解体業者へのヒアリングから大型のバックホーを用いて機械解体することを想定して必要燃料を計算し、係数⁵⁾を用いてエネルギー量に換算した。

4) 排出される廃物 再生工事のCO₂、SOx、NOx排出量は、現場で用いられた小型のバックホー及び工具に使用された燃料を調査し、木材や廃棄物が実際に輸送された距離から必要燃料を計算し、排出係数⁶⁾を用いて排出量に換算した。通常工事の排出量は、解体業者へのヒアリングから大型のバックホーを用いて機械解体することを想定して必要燃料を計算し、排出係数⁶⁾を用いて排出量に換算した。可燃廃棄物の焼却に伴う排出量は、廃木材の元素組成⁷⁾から、C、S分についてはすべてCO₂、SOxになるとして計算し、NOxについては産業廃棄物焼却炉の排出係数（脱硝なし）⁸⁾を用いて計算した。

(3) 間接負荷の計算の方法

以下のように購入者価格あたりの原単位を作成し、これに見積価格を乗じることで計算した。なお、原単位に乗じる見積価格は、積算ポケット手帳⁹⁾などを用いて平均的な価格に補正し、更にデフレーター¹⁰⁾を用いて1990年価格に補正した。また、製材、生コンクリート、鉄筋などの主要な資材は、産業連関表に付帯する国内生産額表¹¹⁾の平均単価を用いた。

産業連関法による原単位（400部門以上）は、CO₂を中心に作成されているが、本稿では本藤ら¹²⁾が作成した原単位をベースとして用いた。これは、CO₂以外の項目（エネルギー、SOx、NOx）についても詳細な検討を行った上で405部門の原単位を整備していること、及び鉄鉱石、石炭、原油、LNG、アルミ新地金の5品目について国外での生産プロセスを別途積み上げで考慮していることによる。

まず、生産者価格あたりの原単位を、1990年の産業連関表取引基本表¹¹⁾を用いて、本藤らと同様に部門の統廃合等を行った上で、CO₂、SOx、NOx、エネルギーについては上記5品目の国外での生産プロセスを考慮して（1）式¹²⁾、他の環境負荷については国外でのプロセスを国内と同等と仮定して（2）式により算出した。さらに、これを（3）式により購入者価格あたりの原単位（525部門）に変換した。

$$\varepsilon = [E + \varepsilon_m A_m'] \times [I - (A_d + A_m' + A_m'')]^{-1} \quad (1) \quad \varepsilon = E \times [I - A]^{-1} \quad (2) \quad \varepsilon_{bi} = \frac{\varepsilon_{pi} X_{pi} + \sum_j \varepsilon_{pj} x_{ij}}{X_{pi} + \sum_j x_{ij}} \quad (3)$$

ε ：生産者価格あたりの原単位ベクトル（1×405）

E ：国内生産額あたりの直接負荷（各産業部門で直接的に生じる負荷）ベクトル（1×405）

ε_m ：国外での生産プロセスを考慮した輸入財の生産者価格あたりの原単位ベクトル¹²⁾（1×405）

A ：投入係数行列（405×405） $A = A_d + A_m' + A_m''$

A_d ：輸入財を除いた投入係数行列（405×405）

A_m' ：国外での生産プロセスを国内と同等と仮定した輸入財の投入係数行列（405×405）

A_m'' ：国外での生産プロセスを考慮した輸入財の投入係数行列（405×405）

ε_{bi} ：i部門の購入者価格あたりの原単位

ε_{pi} ：i部門の生産者価格あたりの原単位

X_{pi} ：i部門の生産者価格の国内生産額

x_{ij} ：i部門の商業マージン・国内貨物運賃（j＝卸売、小売、鉄道、道路、通運、沿海内水運、港湾運送、航空、倉庫）

なお、 E に代入される直接負荷については、以下の値を用いた。

- 1) 投入される資源 原料炭、一般炭、原油、LNG、天然ガス、鉄鉱石、石灰石については、本藤らがCO₂排出量などを推計する際に作成した産業部門別の燃原料消費量¹²⁾を用い、骨材については砂利、碎石の国内供給量¹³⁾、木材については国産材生産量¹⁴⁾の各データを該当する産業部門に割り当てた。
- 2) 排出される廃物 産業廃棄物の発生量としては、厚生省¹⁵⁾の推計値が一般に用いられるが、通産省¹⁶⁾及び建設省¹⁷⁾が、それぞれ製造業、建設業からの発生量を推計している。これらの業種については、厚生省の推計値の方が小さい値を示すものが多い。この違いは、厚生省が各都道府県の推計値(都道府県により推計手法が異なる)を基に全国推計しているのに対し、通産省及び建設省が、多くのサンプルを基に独自に統計的な推計を行っていることによる。推計方法の信頼性がより高いことから、製造業については通産省、建設業については建設省の推計値を採用し、その他の業種については厚生省の推計値を採用した。さらに、建設業については建設省、その他の業種については厚生省が推計した廃棄物別の埋立率^{15, 17)}を用いて、発生量から埋立量を算出した。なお、産業廃棄物の推計部門が69部門であることから、これを405部門に拡張するにあたっては、国内生産額に比例させた。また、一般廃棄物の埋立量は、厚生省¹⁸⁾による推計値を廃棄物処理(公営)部門に割り当てた。

4. 結果と考察

計算結果が表-1、表-2である。

4.1 廃棄物の削減効果

解体廃棄物量は、現地再生では建て替えに比べ24%(76t→58t)、移築再生では解体新築に比べ2%(139t→136t)削減された。移築再生における削減率が小さかったのは、旧Y邸が大規模な茅葺民家であったため解体時に茅や木材が大量に排出された一方で、再利用された構造材の比率が少なかったためである。また、現地再生において削減率が高かったのは、古材の利用率が高かったことに加え、既存の建具や壁をそのまま利用した部分があったためである。これに新築廃棄物と間接廃棄物を加えた総発生廃棄物量は、現地再生では19%、移築再生では2%削減された。また、総埋立廃棄物量については、移築再生ではほとんど効果が見られなかった。

4.2 他の環境負荷の削減効果

1) 投入される資源 資源消費量はいずれも、現地再生では建て替えに比べ10%前後、移築再生では解体新築に比べ1~2%削減された。特に木材消費量は、現地再生では30%、移築再生では18%削減された。これは、新築現場で使用される木材のうち、古材の占める割合が現地再生で35%、移築再生で13%であったことから容易に想像がつく。

2) 排出される廃物 CO₂排出量(化石燃料起源+バイオマス起源)は、現地再生では19%、移築再生では3%削減された。廃棄物の焼却によるCO₂排出(直接負荷)が大きく、移築再生においてその割合は約60%に達する。これは前述の通り、旧Y邸が大規模な茅葺民家であったことに由来するが、現地再生、移築再生いずれにおいても、廃木材の削減がCO₂排出量の削減に大きく寄与した(バイオマス起源)。NO_xについても、CO₂と同様廃棄物の焼却に伴う排出が大きく、これが削減に寄与した。

以上から、民家再生が廃棄物削減策としてだけでなく、他の環境負荷の削減策としても有効であることが分かる。ただし、本稿が対象とした移築再生事例においては、削減率が小さかった。

4.3 削減効果向上の可能性

本稿は、解体廃棄物の削減効果をみるのが主眼となっているが、2つの事例を比較したときに、削減効果を向上させるにあたって次の2点が重要であると考えられる。

第一に木材の再利用率を増加させるためのシステムである。再生にあたっては、構造材として用いられる古材がどの程度あるかと、新しく建てられる住宅に何が求められるかによって、古材の再利用率も異

表-1 現地再生の計算結果

	原料炭		一般炭		原油		LNG		天然ガス		鉄鉱石	
	kg		kg		L		kg		m³		kg	
	現地再生	建て替え	現地再生	建て替え	現地再生	建て替え	現地再生	建て替え	現地再生	建て替え	現地再生	建て替え
解体	21	29	18	25	216	297	16	22	1	2	9	12
基礎	525	564	662	698	969	1,033	73	77	5	5	1,088	1,172
躯体	260	345	440	613	3,145	4,276	315	452	23	31	164	221
仕上	2,136	2,193	922	976	4,400	4,683	541	571	45	47	3,556	3,629
設備	1,764	1,764	546	546	2,266	2,266	316	316	27	27	3,013	3,013
合計	4,706	4,896	2,588	2,858	10,995	12,555	1,260	1,438	101	112	7,830	8,047
削減率(%)	-4		-9		-12		-12		-10		-3	
	石灰石		骨材		木材		エネルギー(化石)		エネルギー(バイオ)			
	kg		kg		m³		Mcal		Mcal			
	現地再生	建て替え	現地再生	建て替え	現地再生	建て替え	現地再生	建て替え	現地再生	建て替え		
解体	14	19	6	8	0	0	3,475	6,295	19	26		
基礎	9,135	9,719	19,172	20,451	3	3	19,462	20,679	152	162		
躯体	786	868	140	168	107	156	45,950	62,523	575	743		
仕上	2,273	2,345	328	342	11	15	99,904	104,556	1,232	1,368		
設備	823	823	87	87	0	0	47,121	47,121	606	606		
合計	13,030	13,774	19,733	21,056	122	175	215,910	241,173	2,585	2,905		
削減率(%)	-5		-6		-30		-10		-11			
	CO2(化石)		CO2(バイオ)		SOx		NOx		発生廃棄物		埋立廃棄物	
	kg-CO₂		kg-CO₂		kg-SO₂		kg-NO₂		kg		kg	
	現地再生	建て替え	現地再生	建て替え	現地再生	建て替え	現地再生	建て替え	現地再生	建て替え	現地再生	建て替え
解体	2,547	3,931	19,948	31,762	12	20	22	35	58,246	76,748	47,128	59,078
基礎	8,396	8,904	163	173	9	9	25	27	3,823	4,043	821	864
躯体	11,221	15,199	2,109	3,092	17	23	30	41	9,567	13,105	1,773	2,391
仕上	25,600	26,790	852	942	65	67	81	84	17,897	18,751	3,756	3,937
設備	12,172	12,172	362	362	21	21	36	36	9,843	9,843	1,962	1,962
合計	59,936	66,997	23,433	36,330	124	140	193	222	99,376	122,490	55,440	68,232
削減率(%)	-11		-35		-12		-13		-19		-19	

表-2 移築再生の計算結果

	原料炭		一般炭		原油		LNG		天然ガス		鉄鉱石	
	kg		kg		L		kg		m³		kg	
	移築再生	解体新築	移築再生	解体新築	移築再生	解体新築	移築再生	解体新築	移築再生	解体新築	移築再生	解体新築
解体	45	42	41	37	581	433	35	32	3	3	20	18
基礎	1,036	1,036	1,404	1,404	1,277	1,277	120	120	7	7	2,190	2,190
躯体	345	367	390	429	2,979	3,359	293	325	19	20	396	416
仕上	1,315	1,315	623	623	3,058	3,058	353	353	31	31	2,113	2,113
設備	1,864	1,864	803	803	3,295	3,295	433	433	36	36	3,083	3,083
合計	4,605	4,625	3,261	3,296	11,190	11,422	1,234	1,263	96	98	7,802	7,820
削減率(%)	0		-1		-2		-2		-2		0	
	石灰石		骨材		木材		エネルギー(化石)		エネルギー(バイオ)			
	kg		kg		m³		Mcal		Mcal			
	移築再生	解体新築	移築再生	解体新築	移築再生	解体新築	移築再生	解体新築	移築再生	解体新築		
解体	31	28	13	12	0	0	9,190	8,175	41	38		
基礎	17,161	17,161	23,609	23,609	2	2	33,208	33,208	265	265		
躯体	517	536	108	119	123	152	43,891	48,647	409	434		
仕上	2,633	2,633	367	367	7	7	72,485	72,485	954	954		
設備	1,862	1,862	130	130	3	3	64,918	64,918	895	895		
合計	22,203	22,220	24,226	24,236	135	165	223,691	227,432	2,565	2,586		
削減率(%)	0		0		-18		-2		-1			
	CO2(化石)		CO2(バイオ)		SOx		NOx		発生廃棄物		埋立廃棄物	
	kg-CO₂		kg-CO₂		kg-SO₂		kg-NO₂		kg		kg	
	移築再生	解体新築	移築再生	解体新築	移築再生	解体新築	移築再生	解体新築	移築再生	解体新築	移築再生	解体新築
解体	5,730	5,452	95,236	99,265	56	58	98	100	136,799	139,190	84,077	84,309
基礎	15,231	15,231	241	241	14	14	44	44	5,876	5,876	1,295	1,295
躯体	11,060	12,208	2,341	2,685	18	20	34	38	8,706	9,817	1,579	1,764
仕上	19,036	19,036	625	625	49	49	56	56	10,673	10,673	2,434	2,434
設備	17,097	17,097	559	559	32	32	49	49	9,957	9,957	2,208	2,208
合計	68,154	69,024	99,001	103,374	169	172	281	286	172,010	175,512	91,592	92,008
削減率(%)	-1		-4		-2		-2		-2		0	

なってくる。移築再生においては、実際には再利用可能な材が多々あったものの、新邸の規模が小さい上、二階建てとなることなどから、再利用率が低くなった。このような場合、旧邸の古材を他の物件へ利用できるようにすれば、再利用率は向上する。すなわち、それらをストックし、適切な物件で利用できるようなシステムが存在すれば、木材の再利用率を向上させることができる。

第二に他の資材（建具、壁土など）を再利用するためのシステムである。現地再生においては、こうした他の資材の再利用が廃棄物の削減に寄与した。特に壁土は不燃物を15%削減することに寄与しており、埋立廃棄物を削減する視点からは重要である。また、良質な屋根土の壁土としての再利用も考えられる。こうした資材についても、古材と同様のシステムが望まれる。

5. おわりに

最後に、結論と今後の課題についてまとめる。本稿では、実際に行われた2つの民家再生事例における、間接的影響も含めた環境負荷の削減効果について評価し、次の結論を得た。1) 解体廃棄物量、総発生廃棄物量及び総埋立廃棄物量とも、現地再生では20%程度、移築再生では数%の削減効果が認められた。2) 他の環境負荷においても、現地再生では5%~20%、移築再生では数%の削減効果が認められた。民家再生は廃棄物だけでなく、他の環境負荷の削減策としても有効であると考えられる。3) 廃棄物の削減効果を向上させるためには、再利用可能な資材をストックし、適切な物件で利用できるようなシステムが必要である。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、滝澤建築事務所・滝澤雄一郎氏、藤岡建築研究室・藤岡龍介氏、施主夫妻、あざみ工務店・村上孔子氏、松原工務店・松原茂明氏及び現場の方々、古材バンクの会・伊東真吾氏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

- 1) 橋本征二、寺島泰：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、1997
- 2) 橋本征二、宮松一朗、寺島泰：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、環境システム研究、Vol.26、pp.317-320、1998
- 3) 橋本征二、寺島泰：建築物解体廃棄物の原単位設定、廃棄物学会論文誌、Vol.10、No.1、pp.35-44、1999
- 4) (社)建築業協会環境委員会副産物部会：建築系混合廃棄物の原単位調査報告書、1997
- 5) 資源エネルギー庁：総合エネルギー統計、通商産業研究社
- 6) (社)プラスチック処理促進協会：プラスチック製品の使用量増加が地球環境に及ぼす影響評価報告書、pp.31-38、1993
- 7) 片岡静夫、井川清光：廃プラスチックはエネルギー資源、プラスピア72号、(社)プラスチック処理促進協会、p.11、1990
- 8) 環境庁：温室効果ガス固定発生源目録調査報告書、1998
- 9) 建築資料研究社：積算ポケット手帳
- 10) 日本銀行：物価指数年報
- 11) 総務庁：平成二年産業連関表、1994
- 12) 本藤祐樹、外岡豊、内山洋司：産業連関表を用いた我が国の生産活動に伴う環境負荷の実態分析、研究報告Y97017、(財)電力中央研究所、1998
- 13) 資源エネルギー庁：鉱業便覧、(財)通商産業調査会出版部
- 14) 林野庁：林業白書、農林統計協会
- 15) 厚生省：平成二年度産業廃棄物排出・処理状況調査報告書、1993
- 16) (財)クリーン・ジャパン・センター：製造業等に係る産業廃棄物等排出量等全国調査結果の概要、1992
- 17) 建設省：平成二年度建設副産物実態調査結果について、1992
- 18) 厚生省：日本の廃棄物'94、(社)全国都市清掃会議、1994