

解体される住宅の構成材の再利用のための構法システム 開発に関する基礎的研究（1）

野城 智也

研究の目的

住宅の解体にあたって発生する構成材の廃材は、かつては、他の建築物で再利用されたり、他種の材料の原料として用いられてきた。例えば、解体住宅から発生する木材は、古材としてそのまま他の住宅で活用されたり、細かく砕かれて木毛セメント板などの建材やパルプなど紙の原料として活用されてきた。

しかし、解体建物から発生した構成材の廃材を再利用することが困難になってきているといわれ、将来、次のような問題が生じるおそれがあるように思われる。

まず第一は、構成材の廃材を焼却することによって、COx NOx SOx などのガスが発生し、地球環境への負荷をますます増大させることである。第二には、かつては解体住宅からの構成材の廃材に原料を依存していた分野までが、新たに直接原料供給を仰ぐことになるため、天然資源の消費のスピードが増してしまうという問題である。第三には、構成材の廃材量が増大し、その最終処分のためのスペースが不足したり、不法投棄が行われる可能性が高まるという問題点である。

スクラップアンドビルドを繰り返し、構成材について一方的な資源採取→消費→廃棄を続けていくと、このような問題は今後ますます深刻になっていくことが懸念される。

本研究は、こうした状況を踏まえ、解体された住宅から発生する廃材（以下 解体材）を再利用することが問題の解決に貢献するという認識に立ち、「解体される住宅の構成材を再利用する可能性を高める構法システム」を「開発するための手掛かり」を得ることを最終的な目的とする。ここでは、再利用のための方策を材料レベルで考えるだけでなく、再利用しやすい構成材の組み合わせなど構法レベルでの方策も含めて考察することとする。

今日の社会・経済条件の中で構成材を再利用するための手掛かりを得るには、住宅がどのように除却されているかを把握しなければならない。こういった最終目的を達成するため、本研究においては、まず、戸建住宅の解体現場の実態調査を行い、その解体プロセス及び構成材の再利用実態の把握を試み、構成材の再利用を阻む要因

を分析した。次に、住宅構成材への資源投入量による再利用の必要度の評価するとともに、構成材の再利用による、廃棄物量の節減効果について定量的評価を試みた。以上の結果を踏まえ、再利用を促進するための構法的な要件について考察し、「プレ（リ）サイクル構法」の概念を提案した。

1. 住宅解体現場実態調査概要

本研究においては、「解体」とは、建物を敷地から撤去する行為を言う。「移築」とは、解体後、ほぼ原形と同じ形で別敷地で建物を再建することを指す。一方「除却」とは、解体後、建物全体を元の形に再建することなく、構成材を廃棄したり何らかの形で再利用することを指す。すなわち、解体は上位概念であり、その具体的な形態として、除却と移築の2種があると考えられる。

1. 1 調査対象

本研究においては、木造在来軸組構法2棟、木質系プレファブ、鉄骨系プレファブ各1棟、合計4棟の除却用解体現場と、木質系プレファブ及び鉄骨系プレファブ合計2棟（いずれもユニット式）の移築用解体現場の詳細調査を行った。物件E、Fのような移築をするケースは極めて例外的なケースであると思われる。表1-1に調査対象建物の概要を示す。物件A、Bは、隣接しており、解体工事が同時進行で行われた。物件Aは、共同住宅であり、他は戸建住宅である。また、物件C、D、E、Fは、住宅展示場における展示用の物件である。

表1-1 調査対象概要

物件	A	B	C	D	E	F
所在地	世田谷区	世田谷区	新宿区	新宿区	新宿区	新宿区
延床面積 m ²	322.6	134.5	278.0	273.5	214.2	230.4
構法	木造在来軸組	木造在来軸組	木質系プレファブ	軽量鉄骨系プレファブ	鉄骨系ユニットプレファブ	木質系ユニットプレファブ
屋根	瓦	瓦	石綿スレート	石綿スレート	石綿スレート	石綿スレート
外壁	メタルラスモルタル	下見板	タイル	A L Cコンクリート	セラミック	塗装 アクリル板
階数	2	2	2	2	2	2
解体種別	除却	除却	除却	除却	移築	移築

1. 2 調査方法

調査においては、解体のほぼ全工程に調査員が常駐し、表1-2に示すような記録を取った。記録において、着目した点を以下に示す。

- 1) 職人構成（解体チーム編成）
- 2) 解体方法（機械壊し、手壊し、併用）と使用機材（コンボ、クレーン）
- 3) 仕分け内容（構成材がどのような状態になって仕分けられているのか）
- 4) 搬出方法、搬出内容、搬出先（中間処理場）これらのうち、解体業者へのヒアリング調査記録シートには、表1-3に示すような内容を聞き取り、記録した。

表1-2 解体調査記録

1、解体業者へのヒアリング調査記録
2、解体作業調査記録
3、写真による記録（36枚撮り29本）
4、スライドによる記録(1800枚)
5、8ミリビデオによる記録（120分テープ26本）
6、タイムラプスビデオによる記録（120分テープ3本24時間撮りのコマ落としをしたもの）

表1-3 主なヒアリング調査項目

1、組織・業態 (仕事の対象、取引先、社員数、解体工事量、使用機材)
2、解体材の処分 (構成材のはがし易さ・はがし難さ、仕分け内容・引き取り手、仕分けられない物、引き取り手がなく処分に困っている物、中間処理業者)
3、工事の条件 (昔と今の解体の違い、敷地・工期・人・請負単位による解体方法の違い、現在困っていること)

なお、物件C、D、E、Fについては、事前に現状調査を行い、解体される建物の図面・資料（パンフレット・カタログ）の収集及び写真撮影を行った。

2. 解体プロセス

2.1 作業手順

図2-1に、木造在来軸組構法の解体事例である調査対象物件Aの解体・除却の作業手順を示す。この作業手順の中で発生する解体材は、解体作業と並行して、仕分けされ、搬出されていく。

図2-2に、鉄骨系ユニットプレファブ構法である調査対象物件Eの解体・移築手順を示す。

日	作業内容	搬出作業
1	●畳、襖、布団を建物から出す ●窓枠鉄柵、煙突、ドアをバーンで外す ●ブロック塀を取り壊しコンクリートと鉄筋に仕分け ●散水しながら瓦を取り壊す ●渡り廊下、外壁から内壁に解体(コンボ使用) ●鉄、チップ、「ゴミ」、ガラに仕分け ●まとめてから積み込む ●建物解体作業をしながら仕分け	●畳、襖、布団積み込む ●鉄を積み込む ●鉄筋を積み込む ●細かくしガラとする ●鉄(ゴミ、金物) ●チップ(木材、木片) ●ゴミ(竹、プラスチック、ビニール) ●ガラ(コンクリート、タイル、瓦)
2	●解体作業終了↓	
3	●仕分け作業(物件Bと並行して)	●鉄、チップ、ガラ、ゴミに分別
4	●基礎解体しコンクリートと鉄筋を仕分ける(物件Bと並行して) ●整地作業(物件Bと並行して)	●鉄筋を積み込む
5	●全作業終了	

図2-1 物件A解体・除却作業手順
(木造在来軸組構法)

物件Eでは、5日間の準備作業の後、建物を構成する各種ユニットが吊り下ろされていくことが分かる。

日	作業内容	搬出作業
1	●造作材、木製家具、畳取り外し ●内装材(石膏ボード)取り外し	●木製家具積み込む
2	●内装材、造作材を建物の外にまとめる	
3	●屋根鉄フレーム 屋根ユニット接合部を取り外す	●内装材、屋根材積み込む
4	●アンカーボルト部基礎の切り離し(ハツリ機使用) ●エアコン取り外し	
5	●内装材を建物の外にまとめる ●足場組み立て	
6	●外壁接合部シール材部切断(カッター使用) ●天窓ユニット吊り下ろす#	●天窓ユニットをコンテナに積載
7	●屋根ユニット(9ユニット)吊り下ろす# ●庇ユニット(8ユニット)吊り下ろす# ●2階ユニット(9ユニット)吊り下ろす# ●2階ユニットに金具を付けシートを掛ける ●玄関ユニット(2ユニット)吊り下ろす# ●1階ユニット(10ユニット)吊り下ろす# ●1階ユニットに金具を付けシートを掛ける ●ユニット解体終了	●屋根ユニットをコンテナに積載 ●庇ユニットをコンテナに積載 ●2ユニット一組でコンテナに積載 ●庇ユニットと一緒にコンテナに積載 ●2ユニット一組でコンテナに積載
8	●木片・ベニヤ・絨毯・植栽を積み込む ●基礎解体しコンクリートと鉄筋に仕分ける(コンボ)	●木片・ベニヤ・絨毯・植栽を積み込む ●鉄筋を積み込む
9	●コンクリートガラを1箇所(コンボ使用)にまとめる ●整地作業(コンボ使用) ●全作業終了	●コンクリートガラを積み込む

#:クレーン使用

図2-2 調査対象物件Eの解体・移築手順
(鉄骨系ユニットプレファブ構法)

2. 2 解体工事の要素作業

図2-1、図2-2に例示した解体手順図を全物件について作成し、ここから、除却解体工事、移築解体工事に現れる要素作業を抽出し、表2-1のように9種の要素作業に整理した。以下、1.残存物片付け、2.付帯設備撤去、3.建物内部解体、4.養生組み立てを総称して「準備作業」と呼ぶ。また、5.瓦解体、6.建物本体解体、7.養生解体をまとめて「本体解体作業」と呼び、8.基礎解体、9.整地を併せて「基礎解体作業」と呼ぶ。なお、解体材を仕分けする作業は、図2-1、図2-2に示すように、「準備作業」「本体解体作業」「基礎解体作業」と並行して行われる場合と、仕分けのみに専念して作業が行われる場合がある。後者のように仕分けのみが行われた場合を「仕分け作業」と呼ぶこととした。

表2-1 要素作業の分類表

o	要素作業	作業内容
1	残存物片付け	解体前に建物内部に残っている家具、冷暖房器具、冷蔵庫、洗濯機などの残存物を片付ける。
2	付帯設備撤去	電気・水道などの付帯設備を撤去する。
3	建物内部解体	残存物を片付けたあと室内建具、造作材、畳、絨毯、天井・壁・床の内装材（仕上げ材、下地材）などを解体する。
4	養生組み立て	解体時に伴う騒音・ほこりを防ぐ養生用木材の組み立てを行い養生シートを張る。
5	瓦解体	屋根に上り手作業で瓦を取り外し地面に落とし瓦の解体を行う。
6	建物本体解体	建物内部が解体され屋根瓦が取り外されたあとに建物本体の外壁・柱・梁・床を解体する。なお、移築解体の場合、解体された躯体の搬出作業も含む。
7	養生解体	建物本体解体が終了したあとに養生シートと養生用木材骨組みを取り外す。
8	基礎解体	建物本体の廃材仕分け作業及び搬出作業を行った後に基礎コンクリート解体を機材を使用し基礎コンクリートを砕きコンクリートガラと鉄筋に仕分けする。
9	整地	基礎コンクリートガラと鉄筋の搬出が終わったあとに敷地の整地を行う。

2. 3 解体所要日数

図2-3は、解体に要した日数を集計したものである。規模、構法の相違があるが、除却解体工事は4～6日程度であるのに対し移築解体工事は8日間の日数を要していることが分かる。これは、移築解体の場合、除却解体に比べて、準備作業に費やした期間が著しく長いためである。除却解体物件では、準備作業は、高々1日で終了するのに対して、移築解体では5日を要している。また、物件C、Dでは、1.5～2日間、仕分けを専念して行う期間が見られる。これに対して、物件Aで仕分けを専念して行う期間はわずか0.5日間で、物件Bでは全く見られない。これは、物件C、Dでは、一気に建物本体を解体してしまった上で、敷地内にうずたかく積まれた解体材の山を仕分けつつ解体材を搬出するプロセスを踏むのに対

して、物件A、Bでは、建物本体の解体と並行して仕分けが行われ、量がまとまり次第、仕分け区分ごとに解体材を敷地外に搬出するプロセスを採ったことによる。このプロセスの相違は、後述するように、解体される住宅の構法の相違のほか、解体現場に仕分けスペースがあるかなど、敷地条件の相違にもよっているように思われる。

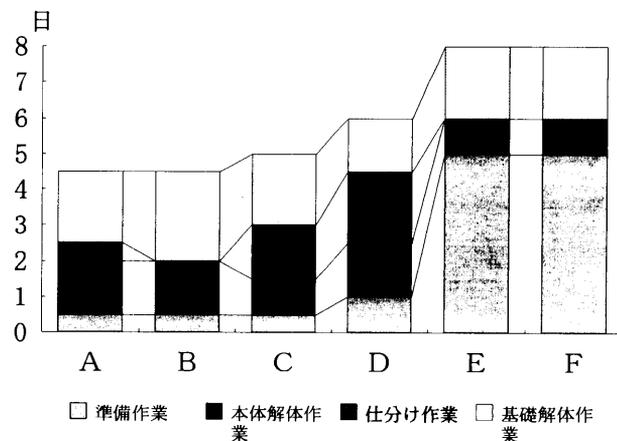


図2-3 解体所要日数

2. 4 作業員別作業内容及び作業チーム役割分担

全物件について、表2-2に例示するような、作業員別作業内容を、要素作業別にまとめた。これより、表2-3に例示するように作業チーム内の役割分担を整理した。物件Aにおいては、全工程においてkがeとともにユンボ（ショベルの通称）の2機の操作を行うとともに、作業員の統括及び工程全般の管理を行っていることが分かる。また、本体解体の段階では、f、lはトラックにチップ（木材）を積み上げていく作業を主として行うこと、g、h、i、j、n、mは、手作業で、鉄・アルミ・チップ・ゴミ・ガラの仕分けを主として担当することが読み取れる。基礎解体の段階になると、作業人員は、大幅に減り、ユンボ2機は、異なる作業を行う。kは、ユンボで主に地面を掘りガラをトラックに積み込む作業を行い、oは、基礎コンクリートを砕き鉄筋とガラを仕分けする作業をユンボを用いて行っている。表2-4に木質系プレファブ住宅を除却解体した物件Cでの役割分担を示す。物件Cの場合少人数のチーム構成であり、物件Aと同様に、ユンボの操作を行う作業員が職長・世話役的役割を果たしている。

表 2-2 作業員別作業内容例 (物件 A)

*日と同時進行		
作業NO	職人	作業内容
2 付帯撤去	a・b	瓦解体後水道の元栓を止める (水道工事)
	c・d	電気配線を切断、メーgerを取り外す (関電工)
3 建物内部解体	e	建具、造作材、布団を取り外しトラックに積み込む コンボで畳、襖を積み込む
	f	トラックの荷台に乗って畳、襖を手作業で丁寧に積み込む 建具、造作材取り外し
	g・h	手作業で建具、造作材を建物から運ぶ
	i・j	トラック積み込み補助、ロープで積み荷腐材固定
4 * 養生組み立て	k	工事全般の管理、養生材組み立て、養生シート張り、植栽を電ノコで切断
	l・m・n	養生材を針金で固定し組み立て、養生シート張り
5 瓦解体	g・h	屋根に上り瓦を手作業で取り外し地面にまとめて落とす
	i・j	e
6 建物本体解体	e	コンボで建物を解体する 主に鉄の仕分け積み込み作業をする
	k	コンボで建物を解体する 主に木材仕分け作業をする
	f	ホスで散水する。チップをトラックに積み込み作業 トラック積み込み補助
	g・h	木・鉄・ゴミ (小舞の竹・プラスチック浴槽・断熱材・ビニール類) の仕分けを行う。パールを使用しブリキと木材・ラスとモルタル外壁材を丁寧に仕分ける
	i・j	木・鉄・ゴミ (小舞の竹・プラスチック浴槽・断熱材・ビニール類) の仕分けを行う。パールを使用しブリキと木材・ラスとモルタル外壁材を丁寧に仕分ける
7 * 養生解体	l・m	建物の解体が終わると養生シートと養生木材を解体する
	n	コンボで基礎、配管、木の根を掘り起こす。 が操縦するコンボで砕かれたコンクリートガラをトラックに積み込む
8 基礎解体	o	コンボで基礎コンクリートを砕きコンクリートと鉄筋に仕分ける
	g	鉄・ガラ (コンクリート片、タイル、ガラス) ・ゴミ (プラスチック、木片) を手作業で仕分ける。スコップ、ハンマーを使用する
9 * 整地	p	コンボ (シャベル) でガラを仕分けトラックに積み込む
	k	敷地の整地作業をする
	g	ガラの仕分け作業 (ハンマーなどを使用)
	q	整地作業補助 (熊手を使用)

表 2-3 作業チーム内の役割分担 (物件 A)

主な役割	作業員	作業内容
世話役	K	作業員の統括、工事全般管理
機械操作	K	「コンボ」の操作及び解体仕分け作業
仕分け	e	「コンボ」の操作及び解体作業
	0	「コンボ」の操作及び基礎解体作業
付帯工事	f、g、h、i、j、l	手作業で仕分け作業、トラックで積み込み作業
	m、n、p、q	
	a、b	水道の元栓を締める
	c、d	電気配線を切断する、メーgerを取り外す

表 2-4 作業チーム内の役割分担 (物件 C)

主な役割	作業員	作業内容
世話役	a	作業員の統括、作業全般の管理
機械操作	a	コンボの操作及び解体・仕分け
解体	b	電ノコを使用し鉄骨・鉄骨の解体、手作業で仕分け
仕分け	c	仕分け作業、トラックで積み込み作業

表 2-5 に鉄骨系ユニットプレファブ構法である調査対象物件 E の作業チーム内の役割分担を示す。移築解体作業には、除却解体に比べて、クレーンの操作、ガス切断など、特殊技能・技術を要する作業員が必要となって

ることが分かる。また、専従の工事管理者がここでは見られる。(世話役 a)

表 2-5 作業チーム内の役割分担 (物件 E)

主な役割	作業員	作業内容
世話役	a	作業員の統括、作業全般の管理
特殊機械	n	クレーンの操作及びユニット解体、積載
補助指示	k	クレーンに合図を出す
補助	e・f	ユニットの4隅につきクレーンユニット解体の補助をする
	g・h	
ガス切断	e・f	アンカー外部をガス切断する
ガス切断補助	g・h	ガス切断を補助する
解体	i・j	
	a・b	手作業で室内ユニット解体、外壁・屋根ユニット解体
	c・d	ユニット下部にコンテジョイント金具を取り付ける
	i・j	ユニットにシートを掛ける
	l・m	
	o・p・q・r・s	
機械解体	k	コンボ (大) の操作及び基礎解体・仕分け
仕分け	l	コンボ (小) の操作及び仕分け
	m	手作業で基礎の仕分けを行う

2. 5 解体所要人工数

図 2-4 に調査対象物件の除却・移築解体に要した人工数を解体される建物の延床面積当たりで示す。除却解体では 1 例を除くと、0.05~0.08 人工/m² であるのに対して、移築解体では 0.18~0.21 人工/m² で 2~4 倍の時間が掛かっていることが読み取れる。これは、移築解体では、準備作業に時間を要しているためであると考えられる。他の除却解体物件に比べ、特に物件 C の人工数が少ない。これは、物件 C では、表 2-4 に示したように、作業チームが少人数構成であり、また、後述するように、他の除却解体物件よりも、解体材の仕分けをラフにしたことが、人工数を小さくしていると想像される。なお、前述したように、物件 A、B では、本体解体作業と並行して仕分けが行われ、これに要した人工をすべて解体作業に含めて集計したため、図 2-4 には、独立した項目として仕分け作業の人工がほとんど現れていない。

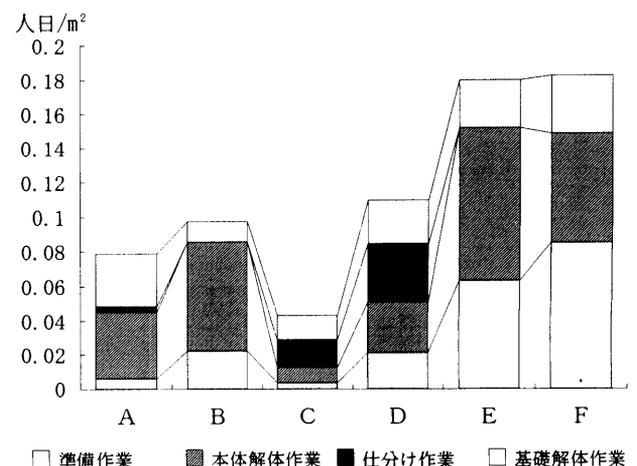


図 2-4 解体に要した人工数 (人日/m²)

3. 解体材の仕分け内容

3.1 解体材の種類

住宅の解体現場より発生する解体材の種類として、木屑、金属屑、建設廃材、ガラス及び陶磁器屑、廃プラスチック等が挙げられる。表3-1に本研究における解体材の分類を示す。また、解体現場においては、解体材の通称が用いられている。表3-2に調査においてみられた解体材の通称の分類を示す。

表3-1 本研究における解体材の分類

解体材	具体例
1 木屑	柱・梁・合板 等
2 廃プラスチック	塩ビパイプ・浴槽 等
3 鉄屑	トタン・ブリキ・廊下の手すり
4 アルミニウム	サッシ 等
5 コート類	配線 等
6 ガラス、陶磁器	ガラス・タイル・瓦 等
7 コンクリート	モルタル・コンクリートブロック・基礎
8 断熱材	グラスウール 等
9 畳、襖	

表3-2 解体現場における解体材の通称の分類

1、「鉄」；鉄骨、鉄筋、鉄屑、トタン
2、「アルミ」；アルミサッシ
3、「木」；木材、木片、合板
4、「ガラ」；コンクリート片、ガラス、陶器類
5、「ゴミ」；プラスチック、断熱材、竹、ビニールなどの産業廃棄物

3.2 仕分け例

以下に、観察された解体材の仕分け内容、及び処理経路について聞き取った結果を示す。表3-3は、木造在

表3-3 物件A, Bにおける解体材の仕分け・処理経路

仕分け呼称	仕分け内容	行き先	処理方法
木屑	構造材 木質部材	中間処理場	破碎燃料チップ 製紙用チップ（柱、梁）
鉄屑	鉄ブリキ アルミサッシ コート類	スクラップ工場 （蒲田）	「リサイクル」
ガラ	ガラス ブロック塀 瓦 モルタル 基礎コンクリート	産廃専門業者 （千葉）	廃棄
産業廃棄物	竹（小舞） プラスチック 断熱材	中央防波堤	廃棄
一般廃棄物	畳 襖	中央防波堤	廃棄

来軸組構法住宅（物件A, B）における仕分け例を示したものである。ここでは木材を中心に仕分けしている。なお、小舞の竹は、プラスチック類とともに産業廃棄物として処理されている。

表3-4は、木質系プレファブ住宅（物件C）における仕分け例を示したものである。物件Cでは、木屑、コンクリートガラ、ガラス、断熱材等を仕分けすることなく、混合した状態で搬出しているが、鉄屑とアルミは丁寧に仕分けしている。

表3-4 木質系プレファブ住宅（物件C）における解体材の仕分け処理経路

仕分け呼称	仕分け内容	行き先	処理方法
鉄屑	鉄骨 手摺	スクラップ工場	「リサイクル」
アルミ	アルミニウムサッシ	スクラップ工場 池上	「リサイクル」
ガラ	木材 合板 断熱材 ガラス タイル 便器 コンクリート	焼却炉 自社保有 千葉県四街道	焼却
			「再生コンクリート」

表3-5は、軽量鉄骨系プレファブ構法住宅（物件D）における仕分け例を示したものである。鉄屑とアルミを丁寧に仕分けしている。また、プラスチックと鉄屑を同一の中間処理場に持ち込んでいる。

このように、表3-1のような詳細な仕分けをして搬出している例は見られず、木屑と鉄屑を混合したり、鉄屑とアルミニウムを混合して搬出している例も見られる。また、木屑を「中間処理場」に持ち込んで、燃料用又は製紙用チップにする場合もあれば、自社の保有する焼却炉で焼却してしまう場合もある。このように、物件により仕分け内容及び搬出先、処理方法には、多くの差異が見られる。

表3-5 軽量鉄骨系プレファブ構法住宅（物件D）における解体材の仕分け処理経路

仕分け呼称	仕分け内容	行き先	処理方法
木屑	木製ボード 木片	中間処理場 川越市B社	燃料チップ
鉄屑	軽量鉄骨	中間処理場 川口市A社	「リサイクル」
アルミ	アルミニウムサッシ	中間処理場	「リサイクル」
ガラ	ALC コンクリート コンクリートブロック ガラス タイル 便器	中間処理場	路盤材
プラスチック	プラスチック	中間処理場 川口市A社	「リサイクル」

4. 仕分けの差異を生む要因

解体材の仕分けの差異を生む要因は、以下のように種々考えられる。

4.1 要因1 解体方法

ここで表4-1のように、機械の導入の割合によって解体方法を、機械解体から手壊しまで、幾つかの段階に分類する。この分類に従えば調査対象物件の解体方法は、表4-2に示すように分類できる。これと表3-3、3-4、3-5と比較してみると、当然ではあるが、手壊しの割合が高まるほど、解体現場の仕分けが細かくなるように推察される。また、表4-1に推測が示されているように、手壊しであるほど、解体材の再利用のための品質が良好であるように思われる。

4.2 要因2 構法の相違

例えば、物件A、Bと物件Cを比較すると、物件cにおいて、工場で生産された合板+断熱材の複合パネルを現場で両者を仕分けすることは極めて困難であると想像される。このように、構法の相違により、解体現場での仕分けの容易さが異なってくるように思われる。解体調査サンプル数が限られているので、断定はできないが、構成材の層構成、及び接合方法により、構成材同士の分離の容易さは著しく異なる。

ここで、構成材の接合部の位置と、解体における切断面との位置関係を次のように分類してみる。

- a 新築時の接合部と解体時の破断部の位置が一致する
- b 新築時の接合部と解体時の破断部の位置がほぼ一致する
- c 新築時の接合部と解体時の破断部の位置が全く一致しない

表4-3は、除却解体された調査対象物件について、新築時の接合部と解体時の破断部の位置を記したものである。このように、木造在来軸組構法(物件A、B)では、大半の部位で新築時の接合部と解体時の破断部の位置がほぼ一致するのに対して、木質系、軽量鉄骨系プレファブでは、両者は全く一致せず、より仕分けが困難なことがうかがえる。これは、木質系プレファブ(物件C)は、接着剤、スクリュー釘による壁パネル同士の接合をはがすことが困難であることによる。いわゆる枠組構法についても同様に困難であることが推測される。また、軽量鉄骨系プレファブ構法(物件D)においては、鉄骨接合部のボルト切り離しが困難であることがうかがえた。なお、移築解体物件では、ほぼすべての部位において、新築時の接合部と解体時の破断部の位置が一致した。言い替えば、ボックスユニット構法は、ボックス接合部を切り離すことで移築できる可能性が高い。



写真1 仕分けされた木屑



写真2 仕分けされた鉄屑の搬出状況

表4-1 解体方法の分類と作業上の問題、解体材の品質

解体方法	作業上の問題	解体材の品質
①全機械解体 (ごく一部手壊し)	騒音、振動、ほこり 運搬時の積載がかさばる	全異物混入、破損大、多量の水分含む
②内部造作建具、配線除去→外壁モルタル、瓦除去→機械解体	騒音、振動、ほこり	破損大 金属類混入
③②→手壊し(釘ぬき)	騒音、振動、ほこり	破損材と健全材の区分ができる
④内部造作建具、配線除去→外壁モルタル、瓦除去→手壊し+機械壊し	主要な部材の取り出し運搬 騒音、振動、ほこり	主要材は健全、他は②に同じ
⑤内部造作建具、配線除去→外壁モルタル、瓦除去→手壊し	手間が掛かる	破損の少ない材がとれる。釘を抜く場合と抜かない場合がある

表4-2 調査対象物件の解体方法

物件	A	B	C	D	E	F
解体方法分類	②	②	①	①	⑤	⑤

表4-3 調査対象除却解体物件における新築時の接合部と解体時の破断部の位置関係

物件		A	B	C	D
構法		木造在来軸組	木造在来軸組	木質系プレファブ	軽量鉄骨系プレファブ
外壁 部位	内壁	b	b	c	c
	柱	b	b	c	c
	梁	b	b	c	c
	床	b	b	c	c
	天井	c	c	c	c
	屋根	b	b	c	c

4.3 要因3 敷地内の仕分けスペースの広さ

解体敷地内部のスペースも、解体材の仕分けの度合に密接に関連すると推察される。物件A, Bのようにスペースに比較的余裕がある場合は、建物からはがされてユンボに掴まれた解体材を、それぞれ仕分け区分に応じて敷地内の別々のスペースに集積させていくことができる。一方、物件C, Dのように解体される建物が敷地一杯に建てられていると、解体材は混合されたままわずたかく積まざるを得ず、その敷地外への搬出時に、有価物などを解体材の山から抽出するのが精一杯である。敷地スペースにゆとりがあると、解体材の仕分けには有利なことが推察される。

4.4 要因4 解体の請負形態・金額

解体業者への聞き取り調査によれば、解体工事の請負金額は、解体する建物の構造により、一律に坪又はm²単価が定められているとのことである。このように物件個々の条件によらず一律に請負金額が定められていることは、仕分けを精密に行う動機を失わせていると言わざるを得ない。面積当たりの単価が低迷すると、工期、現場人員がますます逼迫し、更に仕分けがラフになっていくおそれもあるように思われる。

4.5 要因5 解体材の売り値及び処理費用

有価物が解体材の中にあるならば、それが他の解体材から仕分けられる動機となり得ることが想像される。木屑・鉄屑は、かつては、有価物として仕分けられていたとのことである。しかし、現時点では、新材から作られた木材チップと比べて解体木屑からの木材チップは、価格競争力に乏しいと言われる。この調査対象においても、木屑は、燃料チップの原料として処分する事例は見られたが、製紙用のチップとする事例は1例のみであった。また、鉄屑も値崩れしているとのこと、買い取りではなく、中間処理業者に費用を払って引き取ってもらう場合もあるという。調査において、有価物として積極的に他と仕分けしていると思われたのは、アルミサッシのみである。

一方、処理料金の区分が、仕分け区分に影響すると考えられる。例えば、物件Aにおいては、処理料金が相対

的に低廉な「一般廃棄物」として処理すべく、襖、畳をはじめ「一般廃棄物」と扱われる材料を他とは積極的に区分し、料金の高い「産業廃棄物」のボリュームを少しでも減らそうという指向が見られた。東京都では、いわゆるマニフェスト制度によるチェックが機能しつつあるようで、「一般廃棄物」の中に、産業廃棄物を紛れ込ませることは極めて困難になりつつあるとのことである。

このように、解体材の価額とその処理コストは、解体現場での仕分けに少なからぬ影響を与えらると思われる。

以上4.1~4.5に挙げた仕分けの差異を生む要因を特定するためには更に詳細な調査・分析が必要である。いずれにせよ、解体現場での仕分けがラフで、再利用される可能性のある素材の相当割合が、再利用されることなく、他の素材と混合されたまま廃棄されてしまっているのが一般的状況であると推察される。

5. 解体材量

5.1 発生解体材の原単位

解体材の搬出時のトラック積載可能重量、荷台高さ及びトラック台数を記録した(表5-1)。トラックの規格及びビデオ、写真記録から推定した荷台のかさ上げ寸法から、トラック1台当たりの積載解体材の体積を推計した。これより、各物件の解体材量を体積換算した(表5-2)。トラックに積載する見掛け上の体積は、かさ体積量であって、実質解体材量ではない。

表5-1、表5-2の解体材仕分け単位は、あくまで現場での呼称を基にしており、表3-3~5に示したように、例えば一口に鉄屑と呼ばれていても他種の材料と混合されている場合もある。従って、表5-2の@はその材が発生しなかったのではなく、他の材と混合して搬出したことを示している。この表より、木造戸建住宅の解体工事木屑発生量(かさ体積量)は、物件Aが0.253m³/m²、物件Bが0.293m³/m²である。文献8)に示された調査結果0.378m³/m²と比較して、物件A, Bともに小さいという結果になっている。調査対象の木造在来軸組構法が小舞土壁構法であったことを考え合わせると、合板・ボード類の使用量の多寡が、木屑発生量に関連していると推察される。

表5-1 トラック台数集計表(台)

解体材 仕分け単位	トラック大きさ 規格	物件			
		A	B	C	D
木屑	2t				1
	4t	5	3		1
鉄屑	4t	2	2	2	3
	アルミニウム	2t			
コンクリートガラ	4t	1		1	
	8t			4	4
混合廃棄物	10t	4	3	1	1
	8t			10	3
	10t	2	1		

表5-2 解体材量 (m³/m²)

解体材 仕分け単位	物 件			
	A	B	C	D
木屑	0.25267255	0.29319500	0	0.04535986
鉄屑	0.02931907	0.05975234	0.04182847	0.09325391
アルミニウム	0.01954605	0	0.03225327	0.03341052
コンクリートガラ	0.09321149	0.12690239	0.18283206	0.21395192
混合廃棄物	0.03994778	0.05438674	0.66397582	0.12503684
その他	0.07893482	0.10539134	0.03561664	0.05307624

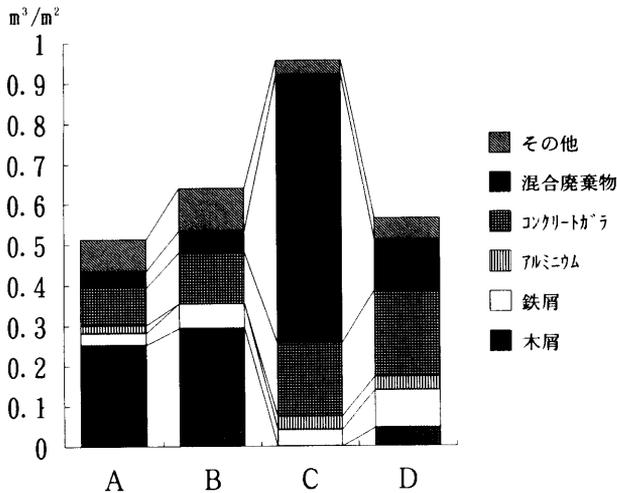


図5-1 物件解体材量原単位 (m³/m²)

図5-1は表5-2に示された解体材量を積み上げてグラフ化したものである。

物件Cの解体材のボリュームが大きくなることが分かる。物件Cでは、混合解体材が大きな割合を占めているが、このような混合解体材は、仕分けされた解体材に比べて、見掛け体積が大きくなると推測される。言い替えると仕分けをラフにすると、解体現場から搬出される解体材の見掛け体積が増えると思像される。

建物の建設時の投入資源量と解体材の質量はほぼ等しいと考えられるが、かさ体積量は、投入資源量よりも大きいと考えられる。表5-3は、建設時の投入資源量(体積)を試算した結果である。

表5-3 投入資源量に関する既往研究との比較

	(m ³ /m ²)				
	文献1) 全国平均	試算1 木造在来 軸組	試算2 枠組壁式	試算3 枠組壁式	試算4 軽量鉄骨系 「レフ77」
木造木材	0.2112	0.241	0.2237	0.1715	*
鉄骨造鋼材	0.0169	*	*	*	0.0057

試算1~4は筆者らが具体的な物件について独自に試算した結果である(文献2)

表5-2、表5-3は、同一プランでの投入資源量と解体材量を比較したものではないため、厳密な値ではないが、以下のことが推測される。

- 1) 木材は、解体材搬出時にかなり整然とした状態で搬出されるため、投入資源量と比較して約1.4倍程度に納まっている。

- 2) しかし、鋼材の投入資源量と解体材のかさ体積量のギャップは、約5~16倍と非常に大きい。

鋼材についての試算でのギャップが大きい理由として、以下のことが考えられる。

- 1) 柱や梁の形状に凹凸があり、解体材搬出時に整理しづらいこと。
- 2) 文献1)の数値は、重量鉄骨造、高層建築物も含めた平均値であり、軽量鉄骨造住宅の物件Dの投入資源量は、試算に用いた数値よりも小さいと思像されること。

5.2 将来の発生木屑量の予測

調査で得られた解体される木造在来軸組構法から発生する木屑量の原単位を参考に、将来発生してくる木屑量を下式を用いて予測する。

$$Q_j = \sum_{i=0}^j U_i \cdot f(j-i) \dots\dots\dots(1)$$

但 Q_j : 歴年 j 年における躯体解体材総量
 U_i : 年次 i 年に着工(建設)された躯体材料使用量
 $f(t)$: 建物寿命確率密度関数(t :建物年齢)
 ここで、 U_i は次式により求める。

$$U_i = \alpha_{str} \cdot S_i \dots\dots\dots(2)$$

但 S_i : 着工年 i 別の構造別延床面積
 α_{str} : 構造形式 str の単位床面積当たりの材料使用量
 α_{str} は、物件Bの木屑量 $0.293\text{m}^3/\text{m}^2$ 及び投入資源量 $0.2112\text{m}^3/\text{m}^2$ を用いるものとする。

ここで、寿命とは、建築物が何らかの理由により、取り壊される時点でのその建物の年齢(建設されてから取り壊されるまでの年数)を指す。寿命確率密度関数 $f(t)$ は対数正規分布に従うと仮定し、以下の式により算出する。

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma \cdot x} \exp \left\{ -\frac{(\ln(x) - \mu)^2}{2\sigma^2} \right\} \dots\dots\dots(3)$$

なお、ここでは、 $f(t)$ は、建築規模、建設年次、用途によって、一律と見なし、同一年次に建設された木造建物の延床面積の減少にも適用する。

残存率 $R(t)$ 、減失率 $\lambda(t)$ は、以下の式で表される。
 $\lambda(t) = f(t) / R(t) \dots\dots\dots(4)$

仮定した $f(t)$ のパラメータ μ 、 σ の値を表5-4に示す。

表中の、仮定1は、既往研究[参考文献9)10)]によるもので参考文献9)の著者名を冠して小松モデルと呼ぶ。既往研究[参考文献11)、12)]によれば、過去の建築着工量に小松モデルを当てはめた推定ストック量と、固定資産課税対象家屋量をプロットした結果は、ほぼ一致している。将来にわたって木造建築物の寿命分布が小松モデルに従うとすると、1992年から2020年までの間に解体

表5-4 仮定した f(t) のパラメーター

	仮定1	仮定2	仮定3	仮定4	仮定5
平均寿命	38.977	25	30	50	60
m	3.66297	3.21888	3.4012	3.91202	4.09434
s	0.63689	0.63689	0.63689	0.63689	0.63689

される木造建築物からどのくらいの木屑量が発生するかを予測した結果を図5-2に示す。ここで、1993年以降の木造建築物の建設量を以下の3種設定した。

建設量1=1992年水準の着工量 (82,058,671m²)

建設量2=1980年以降の最高着工量
(1980年の90,301,141m²)

建設量3=1980年以降の最低着工量
(1985年の70,43,474m²)

この図より、次のことが読み取れる。

- 1) 1990年代後半より2015年辺りまで、木屑発生量は増加の一途をたどる。
- 2) 2020年前後で、木屑発生量の増加がほぼ止まる。
- 3) 今世紀末の木屑の発生量は1990年水準の約1.5倍、2010年で約2倍に達する。

以上のような木屑の増加の傾向は、現在の木造建築物ストックのうちで1970年代以降に建設されたものが多くを占めていることによると考えられる。

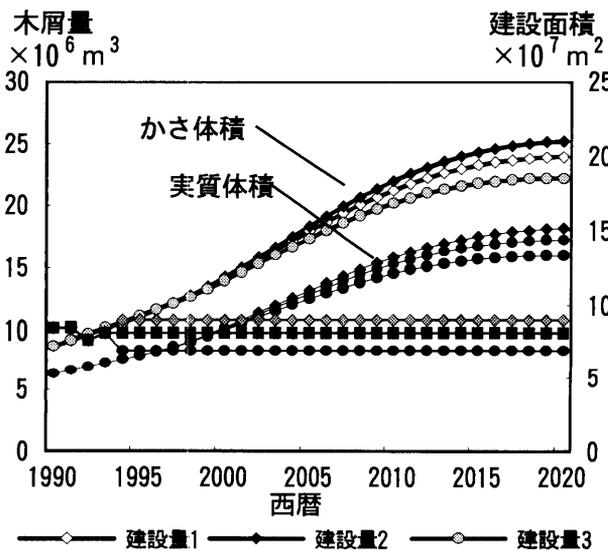


図5-2 木造建築物から木屑発生量予測

5.3 再利用の比率を高めることによる木屑廃棄物量の相違

解体建物から発生する木屑を再利用することによる廃棄される(焼却処分も廃棄と見なす)木屑量の減量効果を試算した例を図5-3に示す。図中、0.2、0.4、0.6と記されているのは再利用率(体積比率)を指す。再利用率とは、発生される解体材のうち、廃棄・焼却されることなく、再利用されるものの体積もしくは重量の比率を

言う。また、図中の基準廃棄物量とは、図5-2の建設量1の場合のかさ体積量を指す。

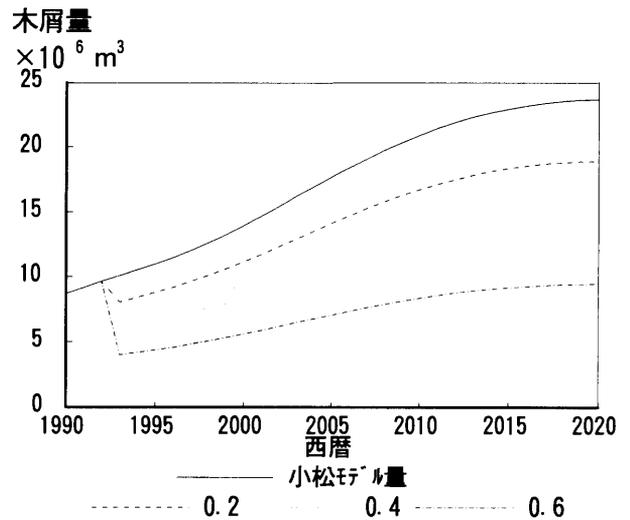


図5-3 再利用の比率による木屑廃棄物量の相違

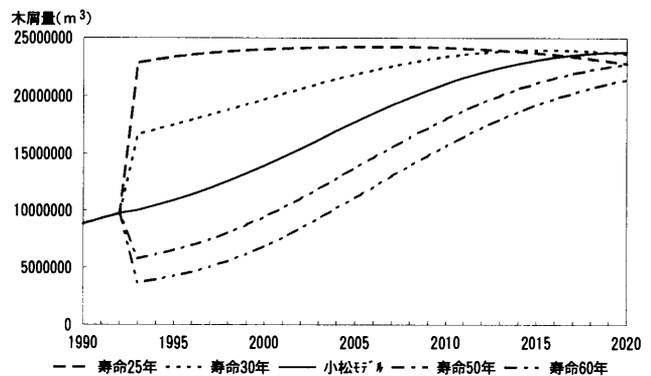


図5-4 寿命による木屑発生量の比較

図5-4は、現在の木造建築ストックが平均寿命25年、30年、50年、60年を1992年以降とすると仮定した場合、どのくらいの木屑量が発生するかを試算した結果を示したものである。なお、ここで建物の寿命は、1992年以前は、小松モデルに従い、1992年以降は、新たに仮定した寿命分布に従うと仮定している。言い替えば、1992年を境に寿命分布が非連続的に変わると仮定しているため、解体される木造建築物から発生する木屑量は、1992年を境に、非連続的に増加したり、減少したりしている。もし、寿命分布傾向が、連続的に変わると仮定すれば、より滑らかな曲線を描くと思われる。

図5-4は、寿命を小松モデルよりも延伸した場合、木屑量がいったん減少することを示しているが、ある時点以降は増加することを示している。これは、今後10年から20年間の解体建物に発生する木屑量を減らすもの

の、更に遠い将来には、1970年代以降に建設された大量の木造建築物のストックの解体が始まることによる。言い替えると、寿命の延伸は、木屑発生量のスピードを抑制はするが、その時間的積分総量を減らすわけではない。言い替えれば、寿命の延伸は木屑発生量を先送りしていることになる。

図5-3、図5-4を比較すると、再利用率を6割にすることによって廃棄される木屑量が減る割合は、平均寿命を60年までに延伸することによる今後10年~20年の間に木屑の減少量よりも大きなことが読み取れる。また、両図を比較すると、長期的にも、再利用率を高めることの方が、木屑の総量（時間的積分）を減らす直接的な効果が大きいことが分かる。解体建物から発生する廃材総量を減らす上での、構成材の再利用の意義は、こういった点にあると考えられる。

6. 解体に要するエネルギー量の評価

解体作業時に消費されるエネルギー量を知るために、現場で駆動する重機(通称ユンボ)の駆動時間をビデオから解読し、その合計時間と燃費から消費エネルギー量を算定した。図6-1に物件Aにおける重機の駆動記録を示す。重機は、2台使用され、図中それぞれ、I、IIと記している。これより、2台の重機の総駆動時間は、53時間30分であることが分かる。燃料を軽油として、使用する重機の燃費は、10l/hであると推測される。軽油の発熱量を9200kcal/l、軽油の炭素放出量を80.4kg-C/Gcalとして次式により、重機の消費エネルギー量、炭素放出量を求めた。

$$\text{総使用燃料量} : 53.5 \times 10 = 535 (l)$$

$$\text{総消費エネルギー量} : 535 \times 9200 = 4.922 \times 10^6 = 4.922 (Gcal)$$

$$\text{総炭素放出量} : 4.922 \times 80.4 = 395.729 (kg-C)$$

ここで得た数値を物件Aの延床面積322.6m²で除し、解体に係わる単位面積当たりの消費エネルギー量、炭素放出量は物件Aにおいては、以下のようになる。

$$\begin{aligned} \text{解体に係わる消費エネルギー量} & : 0.015257 Gcal/m^2 \\ \text{解体に係わる炭素放出量} & : 1.226686 kg-C/m^2 \end{aligned}$$

次に、表5-1に示した解体材搬出のトラック台数総数より、使用された車両が消費したエネルギー量、炭素放出量を物件Aについて算定した。搬出物が最終的に処理される時点までを正確に追跡することは、調査において行なっていない。そこで関東圏内で処理されることを想定し、解体材を搬出した車両の平均走行距離を50kmと仮定して、算定を行なった。

ここで車両の燃費を、2t車が8(km/l)、3t車が7(km/l)、4t車が6(km/l)、10t車が1.5(km/l)と仮定した。物件Aでは、表5-1より、4t車が8台、10t車が6台用いられているので、搬出に係わる総使用燃料量は下式で算定できる。

$$100 \times 1/8 \times 8 + 100 \times 1/1.5 \times 6 = 500 (l)$$

ゆえに搬出に係わる総消費エネルギー量は

$$500 \times 9200 = 4.6 \times 10^6 = 4.6 (Gcal)$$

また、搬出に係わる総炭素放出量は、

$$4.6 \times 80.4 = 369.84 (kg-C)$$

ここで得た数値を物件Aの延床面積322.6m²で除し、解体材搬出に係わる単位面積当たりの消費エネルギー量、炭素放出量を、下記のように、物件Aについて得た。

$$\begin{aligned} \text{搬出に係わる消費エネルギー量} & : 0.014259 Gcal/m^2 \\ \text{搬出に係わる炭素放出量} & : 1.146435 kg-C/m^2 \end{aligned}$$

解体及び搬出に係わる消費エネルギー量、炭素放出量を合算すると、以下のような解体工事全体での原単位が得られる。

$$\begin{aligned} \text{消費エネルギー量} & : 0.029516 Gcal/m^2 \\ \text{炭素放出量} & : 2.373122 kg-C/m^2 \end{aligned}$$

参考文献2)の試算によれば、住宅の建設までに消費するエネルギー量、炭素放出量は、木造在来軸組構法、枠組壁構法のモデル住宅について表6-1のような値をとる。これより、解体工事全体での消費エネルギー量、

	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00
第1日 I	1 1 1 1 1 1	1 1 1		1		1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1		1 1 1 1 1 1
II							1 1 1		1 1 1 1 1 1
第2日 I	1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1		1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1	1 1 1	1 1 1 1 1 1
II	1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1		1 1 1 1 1 1	1 1 1		1 1 1 1 1 1
第3日 I	1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1		1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1	1 1 1	1 1 1 1 1 1
II	1		1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1		1 1 1	1 1 1 1 1 1	1 1 1	1 1 1 1 1 1
第4日 I	1 1 1 1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 1		1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1		1 1 1 1 1 1
II		1 1 1	1 1 1			1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1		
第5日 I	1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1		1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1		
II						1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1	1 1 1	
第6日 I	1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1 1		1 1 1 1 1 1	1 1 1		
II									

図6-1 物件Aにおける重機(通称ユンボ)の駆動記録(1:10分稼働を示す)

炭素放出量は、住宅の建設までの消費エネルギー量、炭素放出量の約1/20程度であることが分かる。

表6-1 住宅の建設までに消費するエネルギー量、炭素放出量試算例

(参考文献2)	消費エネルギー量 (Gcal/m ²)	炭素放出量 (kg-C/m ²)
木造在来軸組	0.5715847026	44.812118
枠組壁	0.5767134307	45.622582

7. まとめ

以上、戸建住宅の解体工事の分析を行い、解体材量や、解体にかかるエネルギー量の評価を行うとともに、解体材の再利用の前提となる、解体材の仕分けを妨げる以下のような諸要因を抽出した。

- 1) 解体方法
- 2) 構法の相違
- 3) 敷地内の仕分けスペースの広さ
- 4) 解体の請負形態・金額
- 5) 解体材の売り値及び処理費用

いわゆる機械壊しが常態化すると、手壊しのできる技術・技能を持った技能者がいなくなっていくおそれもあるように思われる。

1)～5)の要因は、相互に関連している。前述のように仕分けの差異を生む要因の相互関係を特定するには、更に、処理業者や、各種スクラップ・リサイクル業者、風呂屋など、解体材処理に係わる諸主体に聞き取り調査を行い、解体材の物流経路、仕分け選別の度合による再利用方法、処理コスト又は売り払い価格の相違などを把握する必要がある。

いずれにせよ、2)の構法の相違を除くと、個別の建築プロジェクトの当事者にとってみれば、社会的、経済的外的条件であると見ることもできる。

そこで、本研究では、「建物の解体・改修において、構成材に投入された資源が繰り返し利用できることを目的に、構成材の分離・仕分けが容易にできるような仕掛けを建物新築時に持っている構法」をプレリサイクル Pre-re-cycle 構法又はプレサイクル Pre-cycle 構法と呼ぶこととし、その要件を探ることに焦点をあてていきたい。

そのためには以下の点が主要な課題になる。

- 1) 解体業者の技術・技能、再生材の市場性など現実の社会・経済条件の中で成立可能と思われるプレリサイクル構法の要件の解明
- 2) 構成材の接合方法と、解体時の分離方法の関連性の解明；言い替えれば、解体時にどこで、どのような方法で「切断」するのか、そのためには、どのように新築時に構成材を組み合わせておけばよいか。

〈参考文献〉

- 1) 財団法人 建設物価調査会 昭和61年度 建築工事資材・労働力需要実態調査, 1987.2.26
- 2) 田中隆司 野城智也 山畑信博 室井俊一 地球環境・資源問題に考慮した構工法選択のための原単位評価に関する研究 型枠工法及び住宅一棟についての試算例 日本建築学会第9回建築生産と管理技術シンポジウム論文集, pp77-82 1993.7
- 3) 野城智也：「耐用年数と資源消費量の関連性評価に関する基礎的研究」, 日本建築学会第6回建築生産と管理技術シンポジウム論文集, pp271-276 1990.7
- 4) 野城智也：「耐用年数と資源消費量の関連性評価に関する基礎的研究 その2—ビルディングタイプによる解体材料発生予測量の比較—」, 日本建築学会第7回建築生産と管理技術シンポジウム論文集, pp27-34 1991.7
- 5) 野城智也：「耐用年数と資源消費量の関連性評価に関する基礎的研究 その3—交換可能な構成材料を使用することによる資源節減効果の評価—」, 日本建築学会第8回建築生産と管理技術シンポジウム論文集, pp93-100 1992.7
- 6) 室井俊一 野城智也 山畑信博 田中隆司「耐用年数と資源消費量の関連性評価に関する基礎的研究 その4 住宅解体実態調査に基づく将来の廃棄物発生量の予測」第9回日本建築学会 建築生産と管理技術シンポジウム論文集 pp39-44 1993.7
- 7) 桑原一男：「木造住宅の解体・処理の構造と問題点」, 雑誌住宅と木材 pp12-20 1992年11月号
- 8) 住宅建設業団体協議会産業廃棄物検討委員会「住宅解体工事に於ける建設副産物処理に関する 中間報告(リサイクル率の向上と適正処理のために)」1992.3.23
- 9) 小松幸夫 加藤裕久 吉田偉郎 野城智也「わが国における各種住宅の寿命分布に関する調査報告 1987年固定資産台帳に基づく推計」日本建築学会計画系論文報告集 第439号, pp101-110 1992.10
- 10) 加藤裕久「住宅の寿命分布に関する調査研究報告書」No. 9024 住宅総合研究財団 1992.
- 11) Yashiro, T. : Simulation on national building stock formation by several parameters, Proc. of CIB W55 Symposium vol. 4 pp317-326 Lisboa 1993.9
- 12) 野城智也「日本の住宅の寿命考」建築文化 pp150-151 1993.5
- 13) 野城智也「建築の寿命と資源」雑誌 建築保全 No.82 pp19-24 1993.3
- 14) Yashiro, T. : 1992. What kind of built stock are we making for the future? The problem of short life buildings in Japan Proc. of the first CIB W82 Symposium in Espoo, VTT Finland, Espoo 1992.6

〈研究組織〉

主査	野城 智也	武蔵工業大学助教授
委員	八木 幸二	東京工業大学助教授
〃	山畑 信博	建設省建築研究所研究員
協力	室井 俊一	武蔵工業大学大学院生
〃	田中 隆司	武蔵工業大学大学院生
〃	掘 渡	武蔵工業大学学生 (当時)
〃	実方 靖	武蔵工業大学学生 (当時)
〃	高井 将史	武蔵工業大学学生 (当時)
〃	長島 俊明	武蔵工業大学学生 (当時)