

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(2)

野城 智也

研究目的

解体された住宅から発生する廃材（以下 解体材）を再利用することは、地球環境への負荷の軽減、天然資源の消費スピードの抑制、廃棄物量の軽減という意味で極めて重要である。

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点で備えている構法」を「再利用指向構法」reutilization oriented building method と呼ぶ¹⁾。本研究は、再利用指向構法の要件を整理し、その具体的なイメージを提示することを目的とする。

昨年度の本研究(1)においては、戸建住宅の解体現場の調査を行い、下記のような要因により、住宅の解体材の仕分け (sorting) の内容が著しく異なり、解体材の再利用の可能性を左右していることが判明した。

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

この結果を受け、本研究では、まず、仕分け・再利用が先進的に行われている事例を概観した。その1つは、建築系廃材を取り扱うリサイクル産業であり、もう1つはドイツにおける仕分け解体のプロセスである。これらのサーベイに基づき、本研究が想定する構成材の再利用形態のレベルを設定した。

また、再利用を指向していると思われる既往の構法について分析を行い、再利用指向構法の具体的なイメージを提示するための作業を進めた。

次に、解体材の再利用可能性を高めるための、「適切な仕分け」とは何であるかを考察し、再利用の重要度（仕分けにおける優先度）を判定する基準を提案した。仕分けにおける重要度を判定する基準は複数存在する。本研究では特に、製造エネルギーの大きい建築構成材と、資源の持続性が重要な構成材の再利用を進めるための構法システムのあり方を探り、その構法的要件を、「部分」への分割の原則として具体的に提示した。

1. 本研究が想定する構成材の再利用形態

1-1 先進的なリサイクル施設の例

昨年度調査では、解体現場からの解体材の送り先を聞き取ることができた。しかし、その送り先とされる中間処理場などについて知見を得ることができなかった。そこで、以下の先進的なリサイクル施設を訪問・取材し、その実態を探った。

(1) 事例1 新築現場から発生する廃材の中間処理場

A社は、先進的な大規模な中間処理場を首都圏に展開する企業である。Yリサイクルセンターに運び込まれた廃材は、廃プラスチック（非塩化ビニール系・塩化ビニール系）・塩化ビニールパイプ・鉄屑・アルミニウム・空き缶・電線・コンクリートガラ・段ボール・木屑・紙ゴミ及び処理困難物に選別される。

他の先進的な中間処理場においては、すべて機械選別をすることを指向するところもあるが、A社は、手選別も工程に組み込んだシステムを構築している。中間処理場に持ち込まれた廃材のうち、最終的に埋立て処分されるのは、容積比率では全体の2割程度で、その6割をガラス・陶磁器屑が占める。A社の顧客は、主に大規模建設会社であり、その廃材は新築現場で発生するものが大半である。解体現場から発生する廃材を対象としないのは、以下のような理由によるという。

- ・解体材の仕分けが不十分であること
- ・品質が安定していないこと
- ・量が安定していないこと

(2) 事例2 型枠廃材を主原料とするチップボード工場

B社は、チップボードの製造工場を持つ。以前は、木製品工場の端材を原料に用いていたが、近年、原料を型枠合板廃材及び梱包材に依存するようになった。大都市に立地し、自治体の清掃部局からの、型枠工事業者への周知・宣伝もあり、工場に持ち込まれる型枠合板廃材は増加の一途をたどっている。型枠工事業者は、B社に対して、型枠合板廃材処理のための料金を払っている。ただ、この料金は、自治体の清掃部局に持ち込むよりは、安価に設定されている。型枠工事業者は、持ち込むために、型枠廃材から水洗いなどにより、コンクリートノロなどを落とさねばならない。但し、型枠廃材に付着した釘などについては選磁機による分別が可能であるし、剥

離材の大半も化学的にはチップボード製造上問題にならないとのことである。B社は、平準化した工場操業をしたいとしているが、型枠廃材の搬入量が時間的に安定していない点が悩みであるという。

B社も、解体材をチップボードの原料には用いていない。その理由は、混入物があまりに多く、その仕分けのために人員増員・設備投資・スペース確保などの対策をとることは、採算ベースに乗らないためであるという。

以上の2つの中間処理場・工場は、現状では例外的に先進的な設備であると思われる。両者に共通するのは、新築現場から排出される廃材を対象としていることである。少数例ではあるが、これらの事例から次のようなことが考えられる。

- ・新築現場からの発生廃材は、建築という一体物を組み立てる前の廃材であり、一体物を分解して発生した解体材と比べ現場での仕分けがしやすい。
- ・新築工事は請負建設会社及び専門工事業者とといった責任主体が明確で、それらの主体への啓蒙・規制が、新築現場発生廃材の仕分けの改善という動きを生み出していることが想像される。

いずれにせよ、これらの先進事例にみられるようなリサイクル産業が今後成熟していく可能性は高く、解体材も現場での仕分けを徹底さえすれば、リサイクル産業の原料となり得ると期待される。

1-2 外国における参考となる仕分け・再利用例

ライン川上流の地域で、カールスルーエ大学・DFIU (French-German Institute for Environmental Research 独仏共同研究機構)は、解体材再利用推進プロジェクトに取り組んでいる。DFIUに所属する Marc Ruch 氏からの聞き取りと論文²¹⁾をもとに、黒い森地方の住宅において行われたパイロット解体工事の概要を紹介する。解体工事の対象建物は、木造3階建、建築面積425㎡、建物容積5000㎡であり、1910年に当初は住宅として建設され、用途変更、改修工事を経つつ、1980年代初頭以降空き家となっていたものである。解体工事に先立ち、改修工事図面・仕様書及び現地調査をもとに、建物の部材構成が詳細にわたって特定された。次に、建築構成材の数量表が作成された。この数量表は、構成材の寸法・品質も含む詳細なものである。例えば、壁は基本的には木造軸組で構成されているものの、一部で組積造が用いられていることや、大半の電気配線がプラスター仕上げの中を通っていること、衛生・暖房配管の大半が鋼製であるものの、一部銅が用いられていること等が判明した。構成材の数量表をもとに、再利用の形態やコストを勘案しつつ、手壊しを主体とする解体工事における要素作業が拾い上げられた。続いて要素作業の相互関係を検討して工程計画が立てられた。このように、事前調査、

数量表(積算表)の作成、作業の拾い出しというように、新築工事とほぼ同じプロセスをとって、詳細な解体工事の工事計画が策定された。新築工事と異なる点は、解体工事の工事計画が、要素作業の拾い出しと工事組織編成において、解体現場での材料の仕分け区分(=再利用の区分)と対応して決められたという点である。表1に、要素作業及び工事組織の編成区分を示す。

表1 解体工事における要素作業・工事組織区分

1	電気配線・設備	11	3階天井+床
2	衛生配管・設備	12	3階壁
3	暖房配管	13	2階天井+床
4	床仕上	14	2階壁
5	ドア・窓・シャッター	15	1階天井+床
6	木造軸組	16	1階壁
7	外壁パネル	17	地下室天井
8	屋根仕上	18	地下室・基礎壁
9	鉛管	19	外構
10	小屋組	20	その他

この手壊しを主体とした工事は、約6週間の工期を要した。バックホーを用いた機械式解体の工期は3週間程度であるので、2倍の工期がかかったことになる。大断面の木製梁をそのまま再利用するために仕分けたことも含め、ガラは路盤材や地盤改良用に、木製品はチップボードに、ガラスはグラスファイバーの原料とするなど徹底した再利用が行われた。その結果、重量比にして94%の構成材が再利用された。興味深いのは、コスト比較である。Ruch氏らによれば、手壊しによる解体工事のコストは、機械式解体に比べ、解体工事作業と輸送により多くのコストがかかるものの、徹底した分別仕分けにより、再利用・廃棄のためのコストが著しく低くなり、トータルでは、手壊しによる解体工事のコストの方が20%弱低くなるという。これは、日本のこれからのあり方を考える上で示唆的な試算内容である。

1-3 本研究で想定する構成材の再利用形態

先進的なリサイクル産業の実態、及びドイツにおける仕分けを徹底した解体工事を参考に、本研究では、次のように構成材の再利用形態を2つのレベルに分類することとした。

レベル1 同用途による再利用 (Reuse)

建築構成材の品質・機能・性能を、著しく低下させることなく、ほぼ同じ用途で、他の建物で用いる再利用形態を指す。古民家の構造材・造作材を、新築建物で用いることや、住宅を移築することなどがこれに相当する。

レベル2 他用途での再利用 (Recycling)

建築構成材を、従前とは異なる用途で用いる再利用の形態を指す。畳を畑の苗床として用いる例のように、簡易な加工・調整で再利用する (Reconditioning) こと、及び木質材料をチップボードの原料とするように、他種材料の原料として再利用する (Reprocessing) ことも含

む。こういった他用途への再利用においては、材料の純度・品質・機能・性能は、再利用前よりも低いレベルになるのが一般的である。形鋼を原材料にして再び形鋼材を製造することは、形鋼をもとに鉄筋用の棒鋼を製造するよりも高位のレベルへの再利用であると考えられる。高位のレベルへの再利用は、更に再々利用される（いわゆるカスケード利用）可能性が高いと考えられる。そこでレベル2を以下のように2つのレベルに分けることにした。

- ・レベル2 a 高位のレベルへのリサイクル
- ・レベル2 b 低位のレベルへのリサイクル

図1に、以上の再利用形態の模式図を示す。レベル1、2のいずれにおいても再利用されない解体材は、投棄・廃棄・焼却されることになる。

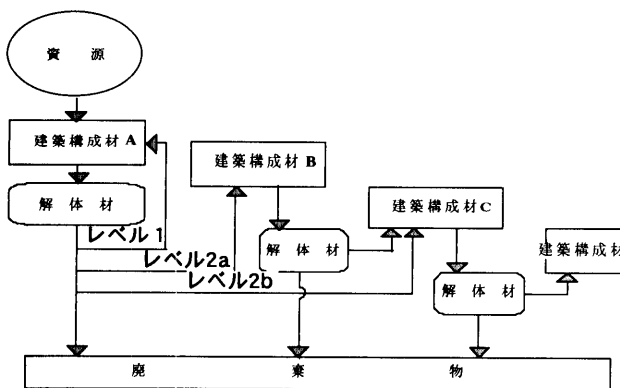


図1 再利用形態のレベル・模式図

建築構成材の再利用のあり方は、レベル1による再利用では、完結した閉じた系でとらえ得る。一方、レベル2の再利用形態は、建築生産という閉じた系でとらえる限りでは、廃棄物の発生抑制効果を生むことはできるが、建物の新設に伴って必要になってくる新たな資源消費を抑制する直接的な効果を見いだすことができない。解体材が製紙チップとして再利用されることの資源消費節減効果は、建築生産と製紙という2種類の生産活動を包含する、より大きな系において初めて認めることができる。どのような範囲の系（System boundary）で再利用の効果をとらえるのかは、今後明確にして議論しなければならないように思われる。

2 既往の再利用指向構法の分析

現実的に存在する構法のうち、再利用指向構法と呼び得ると思われる「民家型構法」と「ユニット構法」における、構成材の再利用の形態を整理し、再利用構法の要件を探る作業を行った。

2-1 伝統的な民家の構法

ひとくちに伝統的な民家の構法といっても、日本全国

で多様な差異をみせているが、ここではあえてそれらを総称して「民家型構法」と呼ぶ。文献調査により、日本の民家型構法における構成材の再利用の実例を収集し、各事例をシート化して、これを本研究で設定した再利用形態のレベル別に整理した。例えば、レベル1：同用途による再利用に相当するものとして、古民家の軸組材の再利用や、住宅全体を移築するなどの事例を収集した。移築については、^{あらかじめ}「予めすべての部材に部材番号を墨で印しておく（番付）などのソフト技術が確立していたことも特筆に値するようと思われる。レベル2：他用途での再利用の事例は、例えば屋根茅→田畑の肥料といったカスケード型の再利用事例を多数確認した。

2-2 ユニット型構法

ユニット型構法とは、ボックス型の部屋サイズのユニットを組み合わせて住宅を建設するようなプレファブ構法である。ユニット型構法を用いた住宅展示場建物が、移築解体されるプロセスは、昨年度の本研究(1)で調査され、建設時と逆手順で移築解体されていくことが分かった（写真1）。

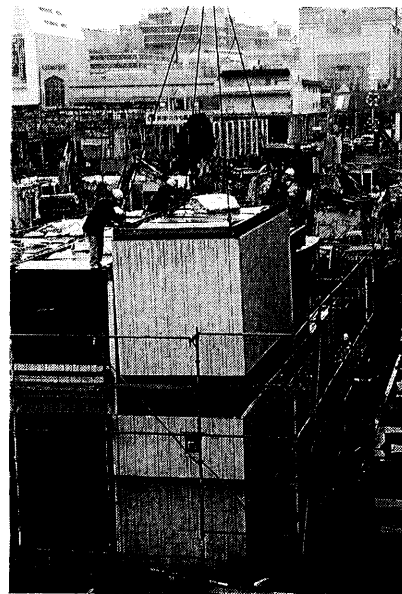


写真1 ユニット型構法解体工事例

英国ではこの構法は、Volumetric 構法と呼ばれ、BRE（英国環境省建築研究所）は、relocatable（移築可能）な構法の1つとして、Volumetric 構法の技術的指針を出版している^{文2) 注2)}。文献2)によれば、Volumetric 構法は、仮設建物だけでなく、本設建物にも用いられ始めているという。

日本の工事現場の仮設事務所の少なからぬ比率がユニット型構法であることを考え合わせると、ユニット型構法は、移築解体の構法であるとみることができる。

ユニット型構法の移築解体における構成材の再利用の

形態は、レベル1：同用途による再利用(Reuse)に相当する。内装仕上げなどを除けば、分解されたユニットは、再び用いることができる。

ボックス型ユニットという大きな単位での解体・仕分けは、本研究(1)で提示された仕分け阻害要因「解体材の売り値及び処理費用」の問題をクリアーしていることを無視できない。分解したボックス型ユニットは、ほぼそのままに再利用できるという経済的価値を持つ。

但し、分解されたユニットの中に、著しく傷んでいる構成材・部品が存在し、かつ、その構成材・部品が、他と分かち難い場合は、そのユニットの経済的な価値は著しく低くなる。例えば、ユニットの壁体内に配管ユニットが埋め込まれ、これが壁体から分離することが容易ではない場合は、ユニット全体の経済的価値は著しく低下してしまう。このことは、構法における部品分割に密接に関連する。

また、ユニット型構法の移築解体では、山積みになった解体材を仕分けするための仕分けヤードを必要とせず、本研究(1)の仕分け阻害要因「敷地内の仕分けスペースの広さ」という問題もクリアしている。

2-3 現在多数のシェアを占める住宅構法における課題

このように「民家型構法」、ユニット型構法は、再利用を指向した構法として優れた条件を具現している。しかしながら、これらの構法が、現在の日本の住宅構法の中で占めるシェアを勘案すると、これらの構法を普及するように唱えるだけでは、現実の問題を解決することにならない。

そこで、現実に存在する構法を用いた住宅において、その解体時に構成材が再利用される可能性(再利用度)を高めるための方策を練ることにした。

すべての解体材料を、再利用することは、理想ではあるけれども、このことは、昨年度把握した解体実態に照らして考えてみた場合、あまりにも現実との乖離があるので、混合され現場に積み上げられた解体材の「山」から、再利用の重要度の高いものを優先的に抜き取るような仕分けをすることが現実的であると考え、仕分けにおける重要度の判定基準を以下のように検討した。

3 仕分けにおける重要度の判定基準の検討

3-1 重要度判定の評価軸

再利用の重要度とは仕分けにおける優先度であるともいえる。本研究では仕分けの優先度を判定する評価軸として、以下の5項目を想定した。

1. 価格・コスト
2. 規制
3. 構成材の製造エネルギー
4. 資源の持続性

5. 廃棄物としての有害性
以下それぞれの項目について述べる。

3-2 価格・コスト

(1) 売却価格

既に、本研究の昨年度の調査において明らかになったように、解体された構成材のうち現在の市場において、売却益が得られるものは、解体材の「山」から抽出され、他と仕分けられる可能性を持っている。昨年度の解体調査現場では、このような理由でアルミサッシが積極的に仕分けられていた。但し、幾ら売却益が得られても、それを上回る労務コストまたは時間コストが、構成材の仕分けにかかる場合は、仕分けられる可能性は極めて低くなる。

(2) 処理コスト

解体材の種別により、処理価格に差異があれば、できるだけ処理価格の安い種別の解体材のボリュームを増やすように仕分けがなされるような可能性がある。例えば、昨年度の解体調査現場では、処理費用が安い一般廃棄物のボリュームを増やし、処理費用の高い産業廃棄物のボリュームを減らすことを主眼に、一般廃棄物扱いとなる、畳、襖などが本格的な解体作業の前に持ち出されていた。

3-3 規制

規制は、法律・条例に基づいた、許可制、届け出義務のほか、罰則などという形で加えられる。また、環境負荷の発生に対する課徴金・罰金、譲渡可能な環境負荷許可権(Tradable permits)など、政策的なインセンティブも規制にあたる。これらの規制の有無が解体材の現場での仕分け内容の差異を生む動機づけになり得る。

3-4 構成材の製造エネルギー

建築構成材の製造エネルギーとは、資源の採取、原料素材の製造、輸送から、完成品である構成材の製造までに使用されるすべてのエネルギーの総量を指している。構成材がそれだけのエネルギー使用履歴を持っているという点から、英語圏ではこれを Embodied energy と呼んでいる。建築構成材の製造エネルギーが大きいということは、化石燃料などのエネルギー資源をより多く、消費していることを意味する。加えて、製造過程で化石燃料を使用して二酸化炭素がそれだけ多く排出され地球温暖化に寄与していることも示している。また、酸性雨の原因となるガス量の大小とも関連している。このように建築構成材の製造エネルギーの大小は、地球環境への負荷の大小とも密接に関連している。

3-5 資源の持続性

資源は、枯渇性資源(化石燃料・鉱物資源)、更新性資

源（森林資源・水資源など）、再生資源（使用済みの鉱物資源や森林資源を再生した資源）に分けることができる。これらのうち、最も問題になるのは、枯渇性資源である。森林の大量伐採など、更新のペースを上回るような更新性資源の消費や、急激な枯渇性資源の消費は深刻な問題を引き起こす。従って、資源の持続性の観点から建築構成材の再生を図ることも極めて重要である。

3-6 有害性

大気汚染・土壌汚染・水質汚染・健康被害を及ぼすおそれのある構成材は、廃棄することなく、積極的に回収する必要性があり、仕分けの重要度を判断する評価軸の1つとなり得る。

3-7 評価軸の相互関係

以上の5つの評価軸は、それぞれ独立の項目であり、他の項目との相関性は一般的にはない。例えば、構成材の製造エネルギーが大きいことと、価格が高いことは必ずしも結びつかない。本研究では、構成材の製造エネルギーと、資源の持続性の観点にたった再利用の行われる構法のあり方を考察することとした。現時点までの既往の研究では、構法設計の参考にできるような細部にわたるカテゴリー分けで、構成材の製造エネルギーの推定値が得られてはいない。そこで本研究では、以下に示すような方法で、構成材の製造エネルギーを評価することを試みた。

4 構成材の製造エネルギーの評価

4-1 製造エネルギーの原単位の評価方法

構成材の製造エネルギーの原単位とは、建築構成材の単位量当たりの、製造エネルギーを指す。国内外の既往研究では、製造エネルギーの原単位を求めるために、産業連関表が用いられている。産業連関表は、一国の各産業部門相互の年間の取引総額が表現されたマトリックスである。マトリックスからは、例えば、建設業に対して製鉄業が年間に総額幾らの売り上げを得たかが記されており、平均的な単価（生産者価格）を与えれば、建設業が製鉄業から鋼材を年間何トン購入したかが推定できる。また、同様にして、製鉄業が電気・石油などのエネルギー供給セクターから、どれくらいの量のエネルギーを購入したのかも推定できるから、数学的な演算によって、建設業で用いられる鋼材の製造エネルギーを推定することができる。このように、産業連関表は、多段階の製造過程を持った構成材の集合体としての建物における、エネルギー投入量を推定するための強力なツールである。

しかし、産業連関表によって得られる「原単位」には、次のような限界と留意点がある。

(1) 得られる数値は、国全体の平均値であること。

例えば、ひとくちにプレキャストコンクリートといっても、その製造工場の設備や輸送距離の相違により、エネルギー使用量に相当な差異があると考えられるが、産業連関表で得られるのは、あくまでもその平均値にすぎない。

(2) 集計項目が産業の部門設定に限られる

産業の部門分類は、建築構成材の分類とは一致しない。そこで、コンクリート・パネルとコンクリート・パイルの差異、製材と集成材の差異の分析にはなじまない。

(3) どこまでを建築構成材の生産活動と見なすかを明確にして集計する必要がある

これは、再利用形態において言及したのと同様な system boundary と呼ばれる問題である。建築構成材の生産ラインにおける直接的なエネルギー使用に限定するのか、建築構成材を生産する企業の事務所・研究所での活動も建築構成材生産活動と見なし、それらにおけるエネルギー使用も算入するのか、その定義を明確にして集計する必要がある。しかし、現時点では各研究ごとに生産活動と見なす範囲に差異があり、統一的な定義は存在しないといってよい。

以上のような産業連関表を用いた方法の限界を補うため、本研究では、構成材の生産工場におけるエネルギー投入、資源投入を積み上げ、建築構成材の製造エネルギーの原単位を求めることを試みた。

4-2 調査概要

調査は、その建築部材を製造しているメーカー団体（協会・工業会などの各種団体）宛にアンケート調査票配布形式で行った。最終的に、60団体に対しアンケートを送付し、86製品（製品によっては複数種類）について回答を依頼した。これらのうち、46製品種について回答があった。また、製品種によっては複数例の回答があり、最終的に得られた結果は、78品目となった。回答の得られた製品のデータを、次に示す手順により整理した。

(1) 手順1：工場での燃料使用量から、直接使用されるエネルギー量を算出する。

(2) 手順2：製品の製造に必要な原材料名及びその使用量から、材料使用による間接的な使用エネルギー量を算出する。原材料の製造エネルギーは、産業連関表の分析に基づく既往研究に示された数値を用いる。原材料の製造にかかわる使用エネルギーの原単位が不明なものは、その類似の材料で代替する。

(3) 手順3：“直接使用エネルギー量+間接使用エネルギー量”を算出し、部材の製造にかかわる使用エネルギー量を求める。

以上の手順に従って計算し、単位量当たりの製造エネルギーを得た例を、表2に示す。

表2 製造エネルギー構成例 (軸葉瓦)

(1) 工場で直接消費されるエネルギー量、炭素放出量

燃料種類	使用量	単位	消費エネルギー量 (kJ)	炭素放出量 (kg-C)
A重油	0.143	l	5566.99	0.1001
電力	0.25	kWh	2354.75	0.0300
合計			7921.74	0.1301

(2) 原材料の消費による間接消費エネルギー量、炭素放出量

備考・軸葉瓦の1枚当たりの重量は2.8kg (和型53型)とする。

*配合土、軸葉の消費エネルギー量原単位及び炭素放出量原単位は、回答用紙に記入されていた参考値である。

原材料名	使用量	単位	エネルギー原単位 (kJ/kg)	炭素放出量原単位 (kg-C/kg)	消費エネルギー量 (kJ)	炭素放出量 (kg-C)
配合土	3.7	kg	72.5*	0.000919*	268.250	0.003400
軸葉	0.085	kg	3553*	0.0625*	302.005	0.005313
合計					570.255	0.008713

(3) 軸葉瓦 1枚当たり

	消費エネルギー量 (kJ)	炭素放出量 (kg-C)
直接	7921.740	0.130100
間接	570.255	0.008713
合計	8491.995	0.138813

また、上記の手順で、結果の得られた19品目の原単位を表3に示す。これに加えて、一部の原材料の製造にかかわる使用エネルギー量が不明であるものの、その原材料の使用量が微量であるか、もしくは使用エネルギーが小さいために全体の結果にそれほどの影響を与えないと思われるものについても集計したものを、表4にその結果を示す。

4-3 戸建住宅における製造エネルギーの構成

以上のようにして得た各構成材の製造エネルギーの原単位をもとに、戸建住宅一戸の構成材の製造エネルギーの総和を試算してみた。試算にあたっては、表3及び表4に示す製造エネルギーの原単位のほか、この表にない構成材については、既往研究^{2,3)~13)}で得られている原単位を用いた。

試算対象住宅の概要を表5に示す。これらの住宅は、ほぼ同一のプランである。これらの住宅の資材量を、見積書及び図面をもとに算定して得た。その上で、資材種別ごとに、資材量に、製造エネルギーの原単位を掛け合わせ、更にこれらを積み上げて、住宅1戸の構成材の製造エネルギーの総和を得た。

得られた製造エネルギーの総和を図2に示す。この図から以下のことが読みとれる。

- ・木造と比較して、鉄骨造の建設までに使用されるエネルギーは大きく、その量は木造の約2倍強となっている。これは、鉄骨造における「鉄」、「ALC板」、「コンクリート」が約4割という大きな割合を占めていることによる。

- ・木造住宅では、「アルミニウム」、「コンクリート」、「石膏ボード類」、「石綿」、「窯業系」などが大きなウエイトを占める。「断熱材」の占める割合は比較的小さい。

- ・木造の4物件は、各項目の占める割合に若干の相違がみられるが、使用エネルギー量の総和では、 $2.0 \times 10^6 \sim 2.5 \times 10^6$ kJ/m²であり、ほぼ近似している。

「木材」の占める使用エネルギー量は、その使用量に対し非常に少ない。これは、製材・合板など木製構成材は、一般的にその製造にかかわる使用エネルギー量原単位が小さいためである。また、木造とはいえ、内装などに合板に代わり石膏ボード類を多用すると、使用エネルギー量は大きくなると推察される。

表3 構成材の製造エネルギー原単位表(1)

製品名	消費エネルギー量	炭素放出量
1 セメント	3,804 kJ/kg	0.214 kg-C/kg
2 赤レンガ	3,459 kJ/kg	0.059 kg-C/kg
3 ALC板	3,896 kJ/kg	0.106 kg-C/kg
4 フローリング材(単層フローリング)	76,559 kJ/m ²	2.213 kg-C/m ²
5 粘土瓦(軸葉瓦)	3,033 kJ/kg	0.050 kg-C/kg
6 粘土瓦(いぶし瓦)	8,237 kJ/kg	0.134 kg-C/kg
7 銅製屋根材	27,640 kJ/kg	0.380 kg-C/kg
8 アルミサッシ	1,880,911 kJ/台	13.401 kg-C/台
9 アルミサッシ(テラス)	2,706,952 kJ/台	19.248 kg-C/台
10 アルミ玄関ドア	5,312,918 kJ/台	38.029 kg-C/台
11 住宅用窓シャッター(アルミ)	2,020,935 kJ/台	20.616 kg-C/台
12 電動アラインド雨戸	8,803,311 kJ/台	66.995 kg-C/台
13 硬質木片セメント	5,959 kJ/kg	0.218 kg-C/kg
14 石綿スレート板(屋根小波板)	12,958 kJ/kg	0.397 kg-C/kg
15 石綿スレート板(フレキシブル板)	22,627 kJ/kg	0.604 kg-C/kg
16 硬質塩化ビニルライニング鋼管(S)	29,288 kJ/kg	0.566 kg-C/kg
17 鋳鉄バルブ	37,747 kJ/kg	0.771 kg-C/kg
18 青銅バルブ	45,131 kJ/kg	0.516 kg-C/kg
19 塩化ビニル(PVC)	36,988 kJ/kg	0.760 kg-C/kg

表4 構成材の製造エネルギー原単位表(2)

一部の原材料の製造エネルギーが不明であるが、大勢に影響がないと思われるもの

製品名	消費エネルギー量	炭素放出量原単位
20 生コンクリート	1,315,947 kJ/m ³	67.281 kg-C/m ³
21 PHCパイプ	1,955 kJ/kg	0.063 kg-C/kg
22 コンクリートブロック(C種)	1,982 kJ/kg	0.065 kg-C/kg
23 板ガラス	36,852 kJ/kg	0.664 kg-C/kg
24 ロッカー(繊維)	85,583 kJ/kg	2.121 kg-C/kg
25 ロッカー化粧吸音板	80,149 kJ/m ²	1.931 kg-C/m ²
26 カーペット	29,643 kJ/kg	0.474 kg-C/kg
27 ビニル壁紙	7,671 kJ/m ²	0.171 kg-C/m ²
28 建築用シーリング	5,264 kJ/kg	0.109 kg-C/kg

表5 試算対象住宅概要

	物件A	物件B	物件C	物件D	物件E
構造形式	木造在来軸組	木造 枠組壁	木造 枠組壁	木造 枠組壁	軽量鉄骨造
延床面積	136.59m ²	136.59m ²	136.59m ²	151.48m ²	148.5m ²
基礎	べた基礎	べた基礎	べた基礎	布基礎	布基礎
外壁仕上	モルタル下地リシン吹付	モルタル下地リシン吹付	モルタル下地リシン吹付	モルタル下地リシン吹付	ALC板合城樹脂吹付
屋根仕上	化粧石綿スレート	化粧石綿スレート	化粧石綿スレート	化粧石綿スレート	化粧石綿セメント

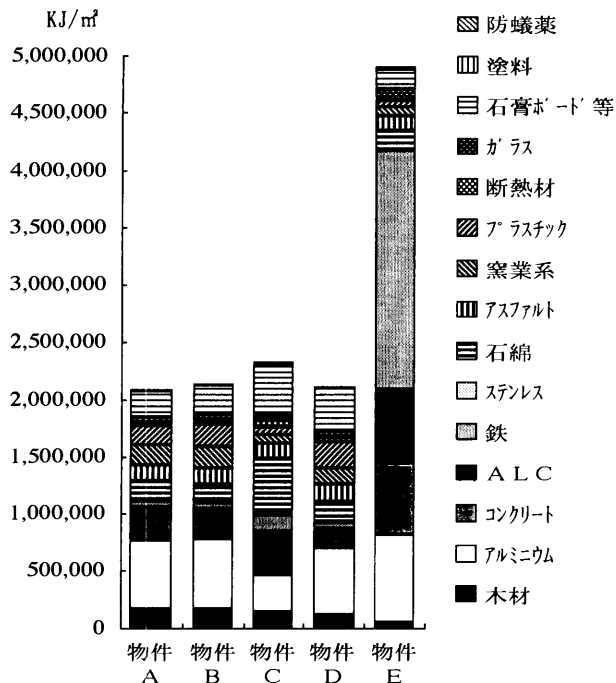


図2 住宅1戸における製造エネルギーの総和試算例

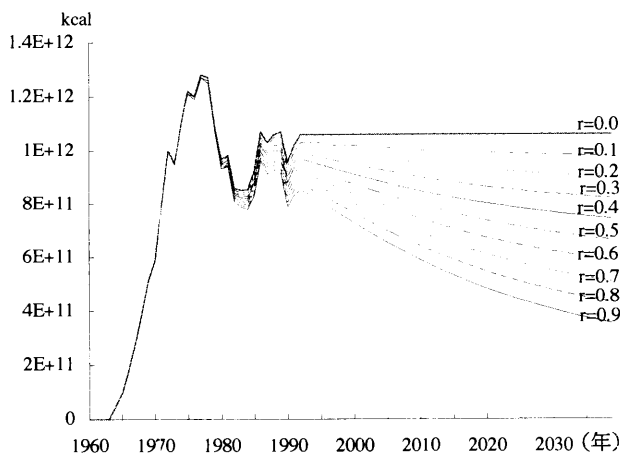


図3 再利用の度合い(リサイクル率r)による、アルミサッシを製造するために必要な総エネルギー量の比較

4-4 再利用による、製造エネルギーの使用量の抑制効果に関するケーススタディ

対象としたのは、アルミニウムサッシである。まず、過去に建設された木造住宅にストックされているアルミサッシの量を、過去の木造住宅の着工量と、木造住宅におけるアルミサッシの普及率をもとに推計した。小松らによる既往研究⁽²⁵⁾を参考に木造住宅の寿命分布型を仮定し、将来解体される住宅から発生するアルミサッシ廃材の量を予測した。これらのアルミサッシ廃材の再利用率をパラメーターとして、再利用の度合い(リサイクル率r)による、アルミサッシを製造するために必要な総エネルギー量がどのくらい変化するかを試算した。この結果を、図3に示す。再利用率を90%(r=0.9)までに高め、再生アルミ地金によるアルミサッシの製造を推進していくならば、全く再利用しない場合に比べ、日本

国内で使用されるアルミサッシを製造するために使用されるエネルギー量を西暦2000年時点で 4×10^{11} kcal、比率にして40%ほど削減できることが分かった。更に2020年時点では 6×10^{11} kcal、比率にして60%ほど削減できることが分かった。

5 再利用指向構法にかかわる原則

5-1 適用条件

適切な仕分け→再利用がなされる構法の一般的原則を整理した。前提とする解体方式は、機械解体と手壊しを混合した方式である。いわゆる「ミンチ解体(1日程度の短時間で戸建住宅を解体するような機械式解体)」を前提とする限り、如何なる構法といえども、構成材が再利用される可能性は極めて低いといわざるを得ないので、考察の対象とはしなかった。

5-2 再利用のための部分分割に関するルール

住宅の解体時に、建物をどのような単位に分割し、仕分け・再利用するかが極めて重要である。そこで、本研究では、以上のような考察を踏まえて、表6に示すような、再利用のための部分分割に関するルールを作成した。

表6は基本原則と推奨原則に分かれている。基本原則は住宅構法の種別によらず共通の一般的原則である。これに対して、推奨原則は、必ずしもすべての構法に適用でき得る原則ではない。

表6 再利用のための部分分割に関するルール

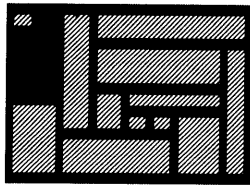
基本原則

0. 構成材の再利用の区分は、前述の仕分けの重要度の評価軸(1. 価格・コスト, 2. 規制, 3. 構成材の製造エネルギー, 4. 資源の持続可能性, 5. 廃棄物としての有害性)のいずれか(複数可)を考慮して決定されるものとする。
1. 建物に用いられている構成材の集合は、再利用の区分と整合した「部分」への分割ができること。但し、再利用をしない構成材は、その限りではない。
2. 再利用のために分割された「部分」と他の「部分」との空間的領域が錯綜しないこと。
3. 再利用のために分割された「部分」と他の「部分」との分離・切断が技術的・経済的に困難ではないこと。但し、分離・切断にあたって、「部分」の一部を、廃棄してもよい。

推奨原則

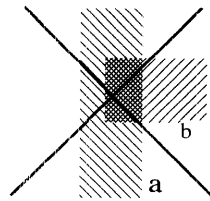
4. 建物の建設時における「部分」の単位と、建物の解体時において再利用のために分割された「部分」の単位が一致すること。
5. 建物の解体時において再利用のために分割された「部分」の単位は、解体工事における発注区分・技能区分・解体材の搬出区分と整合すること。

基本原則 1



再利用のために分割された「部分」
再利用されない構成材群

基本原則 2



「部分」aと「部分」bの領域は錯綜しない

基本原則 3

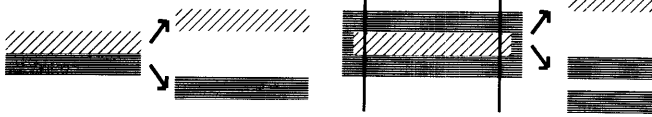


図4 基本原則模式図

基本原則 1, 2, 3 は、再利用の区分に従って、建物のある「部分」を他と仕分けすることができるという要件を表現したものである。この「部分」は基本原則 2 が規定するように錯綜部を持たない加算的な単位である。ではあるが、これらの再利用の単位を積み上げれば建物全体になるわけではなく、基本原則 1 の但し書きにあるように、仕分け再利用されず廃棄される構成材群が存在する。模式図（図 4）に示すように廃棄される「地」の部分からどれくらい再利用すべき「部分」をできるだけ多くピックアップするかということが重要である。

推奨原則 4 は、前述のユニット構法に当てはまる。ユニット構法は、内装仕上げを除き、躯体・内装下地・外装・外装下地・設備などの建築要素の組立単位と、分解単位が一致する構法であり、解体は、建設の逆プロセスで行われる。他種構法では、躯体・内装・内装下地・外装・外装下地・設備の組立単位と、分解単位は必ずしも一致するわけではなく、これらの構法をどれくらい推奨原則 4 に近づけていくかが今後の技術開発の課題となるように思われる。

推奨原則 5 にいう、発注区分・技能区分とは、新築工事における専門工事業者の編成区分に相当するものである。それぞれの「部分」について、及び「部分」相互の接合について、専門的な技術・技能を持った主体が関与しないと、適切な仕分けが行われない可能性もある。

5-3 再利用のための部分分割に関する試設計例

本研究では、表 6 に示す原則を満たす「部分」の分割をした構法を試設計してみた。その試作設計例を図 5～図 7 に示す。

図 5 は、外壁の構成例であり、外壁パネル・断熱材が、解体時にそれぞれ容易に分離できるように意図して試設計したものである。

図 6 は、天井板、ふところまわりの配線、配管と建築

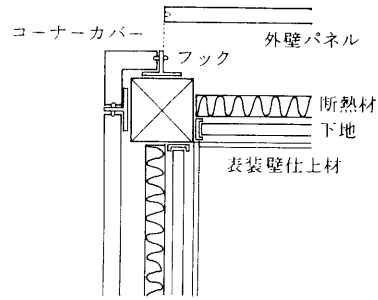


図5 「部分」の構成・試作設計例 1

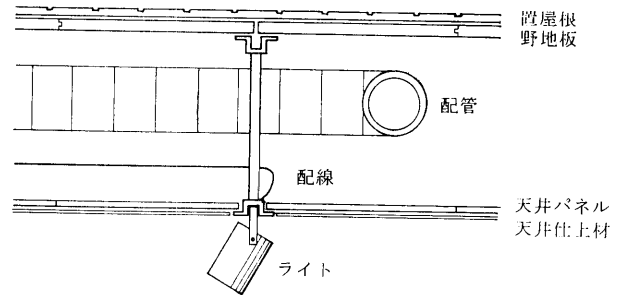


図6 「部分」の構成・試作設計例 2

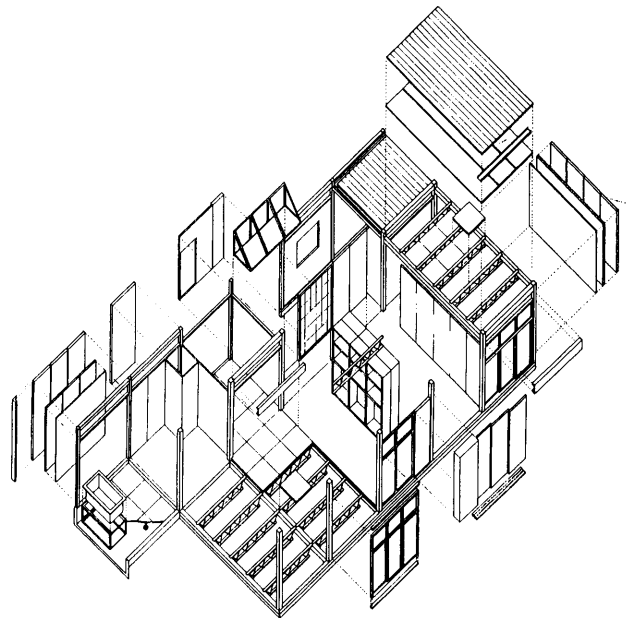


図7 全体構法・部分分割イメージ図

構成材を分離するとともに、天井板などの水平パネルを、さお縁天井のような、置きパネルとし、解体時にこれらの構成材をお互いに分離しやすいように試設計してみたものである。

図 7 は、再利用のための全体構法を、どのような部分に分離するか検討するために作図したものである。

表7 木造住宅を製造エネルギーの観点から再利用するために部分分割する場合の問題点の例

<p>基本原則1にかかわる問題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・プラスチックといっても千差万別であり、構成材に用いられているプラスチックの種類を特定できない。そのためプラスチック系の構成材を再利用に適切なグループに分類することができない。 <p>基本原則2にかかわる問題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・塩化ビニール系給排水配管類、壁・床とが錯綜しており、両者を分離することが困難である。 <p>基本原則3にかかわる問題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・アルミサッシの枠材に取り付けられたクレセント錠は鋼製でありながら、アルミサッシ本体に強固に取り付けられていて分離に相当な労力を要する。 ・内装下地などに用いられている石膏ボードと、間柱、胴縁などの軸組や、クロス仕上げとの分離は困難である。 ・石綿スレート屋根を屋根下地からはがすには、相当な労力を要する。 ・金属系屋根を屋根下地からはがすには、相当な労力を要する。 ・アスファルトフェルト防水紙を屋根下地及び屋根仕上材からはがすのは困難である。また、外壁下地からはがし、他の下地と分離するのも困難である。 ・在来工法で付着されたタイルと下地モルタルと分離することは困難である。

5-4 構成材の製造エネルギーの観点にたった再利用のための部分分割

表6の基本原則0に示すように、構成材の再利用の区分は、価格・コスト、規制、構成材の製造エネルギー、資源の持続可能性、廃棄物としての有害性を考慮して決定されるが、価格・コスト、規制は、構法とは別の次元で作用する因子と考え、構成材の製造エネルギー及び資源の持続可能性の観点からみて、望ましい部分分割のあり方を以下のように考察した。

製造エネルギーの大きな構成材は、再利用することによって、製造時に投入されたエネルギーを有効活用しなければならない。図2より、木造住宅（在来軸組構法、枠組壁構法）において、製造エネルギーの占める割合の高い構成材は、アルミサッシ・石膏ボード類・石綿スレート・窯業系（含む瓦）及びコンクリートである。また、試算対象の住宅では採用されていなかった、金属製屋根構成材も製造エネルギーが高いと考えられる。これらの構成材は、上記の観点からみて仕分け・再利用の重要度が高いと考えられる。表6の原則にのっとり、これらを同用途での再利用（レベル1）またはレベル高位のレベルへのリサイクル（レベル2a）を想定して、「部分」を分割しようと試みた。その結果、表7に例示するよう

表8 在来木造軸組住宅で製造エネルギーの高い構成材を再利用するための構法的対策例

<p>当面の構法側対策</p> <ul style="list-style-type: none"> ・配管・配線類と壁体・床の分離化 <ul style="list-style-type: none"> －配管類を壁・床内部へ埋め込まない －壁体・床に配管類の格納ゾーンを設ける －配線系ブースを独立に設ける ・アルミサッシのクレセント錠など異種金属材を解体時に分離しやすくする ・耐火性を要求されない部位の内装下地に木質系ボードを用いる ・内外装下地に小幅板を用いる ・瓦屋根の下地に土居葺き（木質系シングル材）の採用 ・タイルを乾式構法で留める <p>構法的対策を施す上での技術開発・制度的課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・プラスチック系構成材の成分の表示をする（バーコード、シールなど） ・石膏ボードを木製軸組下地から分離しやすくする接着工法の開発 <ul style="list-style-type: none"> －石膏ボード・内装仕上げ・木質系部材の混合物を原料とする材料の開発 ・石綿スレート屋根を屋根下地から分離する技術的手段の開発 <ul style="list-style-type: none"> －石綿スレート・アスファルトフェルト・屋根下地木質材の混合物を原料とする材料の開発
--

な原則に当てはまらない問題があることが分かった。

昨年度の解体現場実態調査の結果から、アルミサッシは、現時点では市場の売却価格も高く、解体材とアルミサッシを仕分けさせる動機づけが存在すると想像される。ただ、抜き出されたアルミサッシは、機械解体により、変形し傷もついており、再利用の形態をレベル1：同用途による再利用（Reuse）とするのは、機械解体という方法をとる限り困難である。また、アルミサッシの枠材に取り付けられたクレセント錠は鋼製でありながら、アルミサッシ本体に強固に取り付けられている。そのため、レベル2：他用途での再利用（Recycling）においても、レベル2b：低位での再利用に相当するアルミ鋳物の原料としての再利用にとどまっており、前述のケーススタディのように、新規のアルミサッシの製造に解体アルミサッシからのリサイクル材を用いることを阻んでしまっている。

これらの問題に対して、次のような構法上の対策を練り、これを表8のように整理した。残念ながら、当面取り得る構法的な対策は限定されている。そこで、表8中には、当面の構法的対策に加えて、構法的対策を施す上での技術開発・制度的課題も加えて整理してみた。

表9 森林資源を持続的に利用するために木質構成材を再利用する上での在来軸組構法の問題点の例

<p>基本原則1に関する問題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・種類が分かりづらい木質系材料が多用されている <p>基本原則2及び3に関する問題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・レベル1：同用途による再利用をしようとする場合 <ul style="list-style-type: none"> －製材を用いた構成材と木質系ボードが相互に錯綜して接合されているため、両者を分離するのに相当な労力を要する －構造用金物と構造材を分離するのに、相当な労力を要する ・レベル2：他用途の木質系材料として再利用をしようとする場合 <ul style="list-style-type: none"> －製材・木質系ボードと石膏ボードを分離するのに相当な労力を要する －製材・木質系ボードと断熱材を分離するのに相当な労力を要する －造作材とプラスチック系構成材を分離するのに相当な労力を要する －木質系住宅部品には、金属部品・プラスチック系部品が錯綜して用いられており、解体現場での両者の仕分けが困難である
--

5-5 資源の持続可能性からみた再利用のための部分分割

化石燃料や金属など、枯渇性資源の持続可能性の観点からみて重要な構成材の大半は、製造エネルギーも大きいと考えられ、問題点とその対策は前項と重複する。そこで、本研究では、更新性資源である森林資源の持続可能性に絞って考察を進めた。

住宅における木質系構成材を、表6の原則にのっとり、森林資源の持続可能性の観点から「部分」に分割することを検討した結果、表9のような原則に当てはまらない問題があることが分かった。これらの問題を解決するため、本研究では表10のような構法的対策を考案した。

6 在来木造軸組構法における解体のシナリオ

表8、表10に示したような構法的な改良を加え、解体工事のコストが潤沢にあるという条件において、解体材を現時点で可能な限り再利用するための、在来木造軸組構法住宅の解体工事のプロセスを検討し、その結果を表11のように整理した。表中の「作業」項目は、製造エネルギーの大きな構成材と森林資源の持続性の観点から、再利用のための「部分分割」を決め、その上で解体工事における技能区分も考慮して決めた。

表中左の番号は、ある程度プロセスの進行を追って並べてあるが、必ずしも、作業同士の先行・後続関係を表したものではない。(例、アルミサッシと外壁仕上材の撤去手順はその納まりで前後する) パスユニットやキッ

表10 森林資源を持続的に利用するための在来軸組構法における対策例

<p>製材と他種材料の分離</p> <ul style="list-style-type: none"> ・木質系ボードを小幅板などで代替する ・継手・仕口部におけるステンレス金物の使用を避ける ・貫構法を用いるとともに、間柱・胴縁とボード類の接合を、ダボ、ピンなどによりルースにする。 <p>木質系材料と断熱材の分離について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・木質系ボードによる壁パネルでサンドイッチされる断熱材を、古紙利用の発泡材による断熱材とし、解体時に木質系ボードとともに、チップ化できるようにする。 ・壁パネルの端部を、解体時に切り落とせば、断熱材と木質系ボードが分離できるような納まりにする。 <p>木質系材料と石膏ボードの分離について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・剛性の高い石膏ボードを用いて、間柱・胴縁との接点数を少なくする(例えばボード4隅)ことで、解体時に端部を裁ち落とせば、軸組材と石膏ボードが容易に分離できるようにする。 ・石膏ボードをフック・ダボなどで留め、木質系構成材と解体時に分離しやすくする。 <p>木質系住宅部品について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・住宅部品を解体する専門組織を育成し、解体現場から部品のままで、その専門組織の中間処理場・工場に持ち込めるようにする。

チンセットのような住宅部品は、多種材料の複合体であり、これを現場で分解し、再利用のまとまりごとに仕分けをするということは、極めて現実性に乏しい。そこで、表11に示すように、本研究では、住宅部品のユニットのまま現場から搬出し、専門機関に処理を委託するという方法を提案することとした。表中の再利用のレベルが空欄であるのは、現時点では、再利用のあり方が必ずしも明確でないことを示している。

表11の中の「手壊し」は、手道具、簡易な電動工具や治具を用いる場合も含めている。「機械」とは、圧搾機・ショベル・揚重機などを用いる場合に限定した。表に示すように、ここに示す解体のプロセスは、大半が「手壊し」となっている。従って、多くの人工数を要することになるので現時点での解体工事請負金額と工期では、表11に示すようなプロセスをとることは不可能で、こういったコストを社会全体と直接の当事者がどのように負担するのか、制度を整備していくことが肝要である。

おわりに

以上のように本研究では、製造エネルギーが大きい建築構成材及び木質構成材を優先的に再利用するための構法の要件と、解体のプロセスをあり方について考察した。

当初本研究において、構成材の接合部構法を具体的に開発する予定であった。しかしながら、接合部構法を具体的に開発する以前に、どのような「部分」のまとまりで、建物の解体が行われるかが、再利用指向構法においてより重要な要件であることが明らかになり、解体時における「部分」分割のあり方を検討することに研究方針を変

更した。具体的には、在来軸組構法について、再利用指向構法とするための部分分割のあり方を示したが、他構法についての検討は現段階では不十分であるので本報告からは割愛した。いずれにせよ、日本の現在の住宅構法が再利用指向構法として改良され、かつ材料の再利用の技術的手段が今後開発されていったとしても、表11に示し

表11 製造エネルギーの大きな構成材と木質構成材の再利用のための木造軸組構法解体のプロセス

	作 業	作 業 形 態	再利用レベル	再 利 用 材 料 例
1	建具・畳の撤去	手壊し	レベル2 b	チップボード・肥料
2	吊り戸棚・収納ユニット・木質系家具撤去	手壊し+機械	レベル2 b	チップボード・燃料チップ
3	造作材の撤去	手壊し	レベル2 b	製紙チップ・チップボード
4	クロス仕上げの撤去	手壊し	レベル2 b	
5	床カーペット撤去 床クッションフロア撤去	手壊し 手壊し	レベル2 b	
6	内装左官系仕上げの撤去	手壊し		
7	内装下地 木質系ボードの撤去 内装下地 石膏ボード撤去	手壊し 手壊し	レベル2 b	チップボード・燃料チップ
8	天井パネルの撤去	手壊し	レベル2 b	製紙チップ・チップボード
9	給排水用塩化ビニール管類撤去 給排水用鋼管類撤去 給湯管撤去	手壊し 手壊し+機械 手壊し+機械	レベル2 a レベル2 a / 2 レベル2 a / 2	塩化ビニール材 電炉原料/金属鋳物 銅原料/金属鋳物
10	電気配線類撤去	手壊し	レベル1	再生電線
11	その他の内装構成材の撤去			
12	瓦材の分離 金属系屋根材の分離 石綿スレート屋根仕上げ撤去	手壊し 手壊し+機械 手壊し	レベル1 / 2 b レベル2 b	瓦/路盤材 金属鋳物
13	塩化ビニール製樋の撤去 金属製樋の撤去	手壊し 手壊し	レベル2 a レベル2 b	塩化ビニール材 金属鋳物
14	外壁金属系サイディング材撤去 外壁セメント系サイディング材撤去 外壁石綿スレート系サイディング材撤去 外壁木質系サイディング材撤去 外壁窯業系サイディング材撤去	手壊し+機械 手壊し+機械 手壊し+機械 手壊し 手壊し+機械	レベル2 b レベル2 b レベル2 b レベル2 b レベル1 / 2 b	チップボード・燃料チップ タイル/路盤材
15	モルタル仕上げの撤去	手壊し+機械		
16	アスファルトフェルト撤去			
17	アルミサッシ撤去		レベル2 a / 2 b	アルミ/アルミ鋳物
18	水切りなど外回り金属部品の撤去		レベル2 b	金属鋳物
19	外壁下地撤去	手壊し+機械		
20	断熱材撤去	手壊し	レベル1 / 2 a	断熱材/断熱材原料
21	その他の屋根・外装部品の撤去			
22	衛生陶器の撤去	手壊し+搬送機械	レベル2 b	(専門の解体組織に持ち込み)
23	キッチンセット・洗面化粧台の撤去	手壊し+搬送機械	レベル2 b	(専門の解体組織に持ち込み)
24	バスユニットの撤去	手壊し+搬送機械	レベル2 b	(専門の解体組織に持ち込み)
25	換気扇撤去	手壊し+搬送機械	レベル2 b	(専門の解体組織に持ち込み)
26	給湯器撤去	手壊し+搬送機械	レベル2 b	(専門の解体組織に持ち込み)
27	その他の設備部品の撤去			
28	木質系ボード類撤去	手壊し+機械	レベル2 b	チップボード・燃料チップ
29	構造金物撤去	手壊し+機械	レベル2 b	金属鋳物
30	軸組部材の解体・撤去	手壊し+搬送機械	レベル1 / 2 a	軸組材/製紙チップ
31	基礎解体	機械解体	レベル2 b	路盤材
32	整地	機械解体		

たように、解体工事は、「手壊し」抜きには再利用の活路が開けないこと、しかも「部分」への解体には現在よりもはるかに高度な技術・技能が必要で、これらの技術・技能に対して相応の対価を払うことが健全な市場を形成する上で肝要であることを、最後に強調しておきたい。

<注>

- 1) 昨年度研究報告では構法と呼称した。この呼称に、様々な疑義が提示されたので、recycle-oriented/rycycle considered building system, Building system for deconstructionなどの呼称と比較検討し、本文のような再利用指向構法 reutilization oriented building method という呼称を用いることにした。
- 2) 文献2は Volumetric 構法を次のように定義している、「Volumetric 構法は、一列状に並んで仕上げ済みのモジュールから成っている。モジュールはボックス型で、床・壁・屋根すべてはプレファブ化されている。」

<参考文献>

- 1) Ruch, M. et. al : A case study of integrated dismantling and recycling planning for residential buildings Proc. of CIB TG8 Symposium 1994
- 2) BRE Digest 374, Relocatable Buildings-structural design, construction and maintenance, 1992.8
- 3) 科学技術庁資源調査研究所：ライフサイクルエネルギーに関する調査研究-衣・食・住のライフサイクルエネルギー-, 1979.4
- 4) 松本順：材料製造エネルギーの算出について-方法論の比較と数値例-, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東), 1979.9
- 5) 松本順：建築材料のエネルギー原単位について-算出数値の比較-, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (近畿), 1980.9
- 6) 須田松次郎：1985年建設活動による排出炭素量-1985年産業連関表による推計-, 建設省総合技術開発プロジェクト平成4年度報告書, 1992.3
- 7) 大林組地球環境部 (酒井寛二)：建設業の資源消費量解析と環境負荷の推定, 1992.1
- 8) 大林組地球環境部 (酒井寛二)：炭素排出原単位調査報告書, 1993.3
- 9) 岡建雄：産業連関表による建築物の評価-その1, 省エネルギービルと一般事務所ビルの比較-, 日本建築学会計画系論文報告集第359号, 1986.1
- 10) 竹林芳久, 岡建雄, 紺矢哲夫：産業連関表による建築物の評価-その2, 事務所建築の建設による環境への影響-, 日本建築学会計画系論文報告集第431号, 1992.1
- 11) 紺矢哲夫, 岡建雄, 竹林芳久：産業連関表による建築物の評価-その5, 建築構造物の必要資源量と排出量-, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1991.9
- 12) 大熊幹章：地球温暖化防止と木材利用, 雑誌住宅と木材, 1991.4
- 13) 加藤宏：アルミニウムと環境, 1992.5
- 14) 日本エコライフセンター：環境庁委託研究報告書「環境への負荷の評価に関する予備的検討 特に製品に関する環境負荷評価を中心にして」1994.5
- 15) 日本建築学会建築と地球環境特別研究委員会：建築が地球環境に与える影響 1992.3
- 16) CIRIA (Construction Industry Research and Information Association) : Environmental issues in construction A review of issues and initiatives relevant to the building, construction and related industries Volume2-Technical Review, Special Publication 94, 1993
- 17) 田中隆司, 野城智也 ほか：資源有効利用を考慮した住宅構法

システムに関する基礎的研究 日本建築学会第10回建築生産と管理技術シンポジウム論文集 1994

- 18) 田中隆司, 野城智也 ほか：地球環境・資源問題を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 1993
- 19) S. N. Tucker & G. J. Treloar : Energy Embodied in Construction and Refurbishment of building, proc. of CIB TG8 symposium 1994
- 20) Deborah Singmaster : A forest labelling system to specify renewable timber, the Architects Journal, 13 April 1994
- 21) Fred Moavenzadeh : Global construction and the Environment, Strategies & Opportunities, Wiley - Interscience, 1994
- 22) BRE (Building Research Establishment) : BREEAM/New Homes ver 3/91 An environmental assesment for new homes, BRE, 1991
- 23) BRE (Building Research Establishment) : BREEAM/Existing Offices ver 4/93 An environmental assesment for new homes, BRE, 1993
- 24) BRE (Building Research Establishment) : BREEAM/New Offices ver 4/93 An environmental assesment for new offices3, BRE, 1993
- 25) 加藤裕久, 小松幸夫：「住宅の寿命分布に関する調査研究報告書」住宅総合研究財団 1992

<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	東北芸術工科大学助教授
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
	信太 洋行	武蔵工業大学大学院生
	中村 幹	武蔵工業大学大学院生