

# 木造建築物の再資源化・資源循環化技術の開発

材料研究グループ 上席研究員 中島 史郎

## 目次

### はじめに

#### 研究開発の全体概要

##### 1) 概要

##### 2) 技術開発の内容

#### 資源循環型木造建築物の設計・施工技術の開発

##### 1) 分別解体・再資源化しやすい設計・施工技術

##### 2) 枠組壁工法の設計・施工技術

##### 3) 軸組構法の設計・施工技術

##### 4) 基礎の設計・施工技術

##### 5) 設計・施工事例集

#### 再資源化に関する調査及び技術開発

##### 1) 木質系解体材の再資源化の可能性

##### 2) 仕上げ材等の再資源化技術

#### 物質循環算定手法の開発

##### 1) ツールの入力と出力

##### 2) ツールのメイン画面

##### 3) ケーススタディ

### おわりに

### 参考文献

### はじめに

建設廃棄物は産業廃棄物全体の排出量の約2割を占めており、最終処分場の残余容量もわずかになっている状況から、廃棄行為そのもののあり方が問われている。また、不法投棄量の多くを建設廃棄物が占めており、その中で木造住宅解体時に発生する廃棄物が増加要因の一つといわれている。一方、建築系建設廃棄物は他分野の廃棄物に比べて廃棄物中に様々な種類のものが含まれる可能性が高く、混合廃棄物の排出量が多くなる傾向にある。また、解体処理に絡む要因も複雑で再資源化の取り組みが遅れており、その対策が重要な課題となっている。品目別では、建設発生木材、建設汚泥、建設混合廃棄物の再資源化率が低迷して

おり、特に建設発生木材と建設混合廃棄物の中に木造建築物由来の廃棄物が多く含まれていることは大きな課題となっている。

木造住宅等の木造建築物の解体除却時に発生する木材は本来燃料、炭、木質材料、紙、古材などの循環資源としての特性、機能を有している。にもかかわらず廃棄物による地域環境への負荷が大きな問題となっているのは、建築活動そのものから発生する副産物を廃棄物化させないための新しい技術と仕組みが循環型社会として機能する体制が整っていないからに他ならない。木造建築物における再資源化と資源循環化を促し、廃棄物発生抑制を達成するためには、解体・分別・再資源化しやすい木造建築物を開発・普

及させるとともに、廃棄物の発生抑制につながる再資源化技術を開発・普及させる必要がある。

この課題に応えるため平成14年度までの3年間、研究開発プロジェクト「木造建築物の再資源化・資源循環化技術の開発」を実施してきた。本稿では、この研究開発の内容の一部を抜粋して紹介する。

## 研究開発の全体概要

### 1) 概要

図1にプロジェクトの全体概要図を示す。この研究プロジェクトでは、解体時における廃棄物の発生抑制について設計・計画段階で配慮した木造建築物の設計・施工技術を確認すること、建築材料及び部材の合理的な再資源化技術を確認すること、技術普及のために必要な木造建築物の物質循環手法を提案することを目的とし、総合的な技術開発を実施し、分別解体・再資源化し易い木造建築物の設計・施工技術事例、建築材料・部材の再資源化に関する技術資料、並びに木造建築物の資源利用・廃棄物発生に関する物質循環算定手法を開発した。

### 2) 技術開発の内容

#### 資源循環型木造建築物の設計・施工技術の開発

木造住宅を解体・処分する際の解体現場での分別作業時間、中間処理場での分別作業労力を少しでも軽減するための一つの対策として、解体時における分別の容易性に配慮して木造建築物を設計することが考えられる。本研究プロジェクトでは、既存の木造構法の解体・分別・再資源化の

容易性に関する分析を行い、現行の設計法のどの部分をどのように改良すれば、解体・分別・再資源化がやりやすくなるかについて検討した。建物やその部位の試作並びに解体・分別容易性に関する検証実験を行い、研究成果を「(仮称)分別解体・再資源化し易い木造建築物の設計・施工技術資料集」として取りまとめた。従来、建物設計時にほとんど意識されなかった解体時における建物の処理の仕方について計画段階で予め考えるための技術的基盤の一つを整備した。本研究プロジェクトでは軸組構法と桝組壁工法を対象として、建物を分別解体・再資源化し易くするための要素技術を提案し、解体実験を通じて検証を行った。木造躯体、仕上げ材・造作材、基礎についてそれぞれ要素技術の開発を行った。

#### 再資源化に関する調査及び技術開発

木質系建設廃棄物の2010年の目標再資源化等率は95%である。木質系解体材の再資源化を促進するためには、解体材の特性や排出地の地域特性に応じた再資源化メニューを用意し、条件に合った最適な再資源化ができるようにしておく必要がある。木質系解体材は現在のところ、パーティクルボード等の再生面材の原料、マルチング材の原料、敷料の原料、炭の原料、熱源などとして再生利用の可能性はある。このうち、パーティクルボードについては解体材由来の原料が既に投入されており、解体材の重要な受け皿となっている。また、敷料については北海道など牧畜が盛んな地域では、解体材が肉牛用の敷料の原料として利用されている。一方、木質系廃材を発電に利用したバイオマス

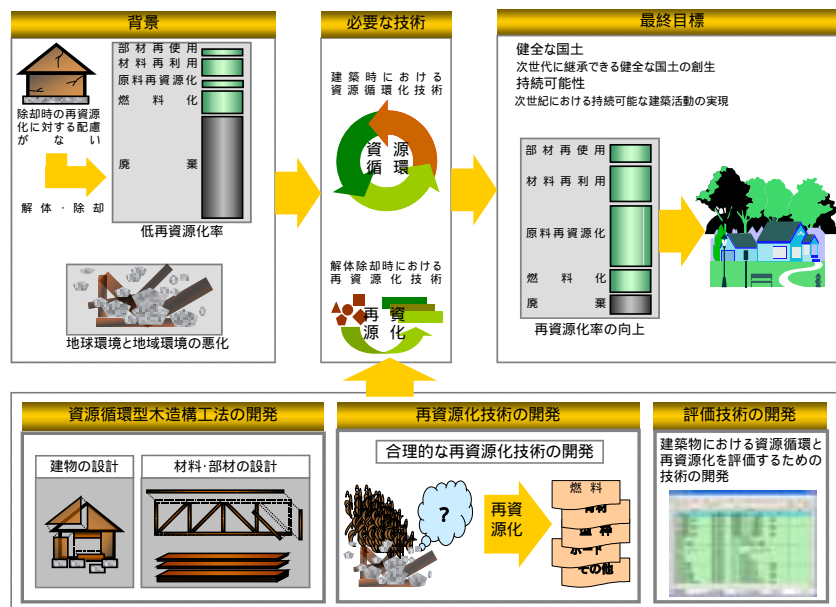


図1 プロジェクトの全体概要図

発電に関する研究も進められている。本研究プロジェクトでは、このような再資源化のメニューを整理するとともに、解体材の特性に応じて再資源化の方法を検討できる技術資料を作成した。また、解体材等を原料とした再生材の利用を拡大するために必要な要素技術について整理した。

研究は木質系解体材と仕上げ材等を対象として実施し、前者については手解体と機械手併用解体によって排出される解体材の量と品質についてのデータベースを作成し、寸法形状、材質、品質に応じて再資源化の方法を検討できる技術資料を作成した。一方、仕上げ材等については生産時、新築時、解体時に排出される廃材の再資源化の可能性と課題について整理し、技術資料として取りまとめた。また、徹底した分別解体を行った場合に、各種建材の再資源化の可能性がどの程度向上するかについて分別解体実験を通じて明らかにした。

#### 物質循環算定手法の開発

木造建築物の建設、解体、処分による環境負荷を定量的に算定することが可能になれば、設計・施工方法や解体工法、並びに解体材の処分方法を選択する際の判断材料を提示することが可能にある。再資源化しやすい建築材料を積極的に使用することによる環境負荷低減効果や、分別解体しやすい設計・施工法を採用することによる環境負荷低減効果など、環境負荷を減らすために講じられた様々な工夫や努力を客観的な指標を用いて算定することが可能になれば、環境負荷低減に対する個々の取り組みを支援し、その普及を促すことにもつながる。

一方、リサイクル原料から建材を製造する方がパージン原料から建材を製造するよりもはるかに多くのエネルギーを消費する場合がある。すなわち、解体材の最終処分量を削減するためにとるべき行為と、建築物の建設・解体・処分時におけるエネルギー消費量を削減するためにとるべき行為が、相反することがある。このような場合、状況や目的に応じた最適な対応方法を見つけることが重要であり、そのためのツールが必要である。本研究プロジェクトでは、木造建築物の建設、解体、処分という一連の活動における物質の流れと関連するエネルギー消費量(CO<sub>2</sub>排出量)を算定するために必要なデータを収集し、データベースを作成した。また、個々の木造建築物について、建設、解体、処分過程における資源消費量、解体材排出量、エネルギー消費量(CO<sub>2</sub>排出量)を定量的に算定するためのツールを開発した。

### 資源循環型木造建築物の設計・施工技術の開発

#### 1) 分別解体・再資源化しやすい設計・施工技術

近年、自動車や家電製品など工業製品では使用し終わったときの分解・リサイクル容易性に配慮して設計・製造されているものが増えてきている。しかしながら、現在一般的に建てられている木造建築物の多くは建物が解体される時のことを考慮して設計されていないのが現状である。木造建築物を解体したときに発生する解体材の再資源化を容易にするとともに、解体材の処分に係る負荷を低減するためには、他の工業製品同様、木造建築物についても建物を使い終わったとき、すなわち解体するときのことを考慮した設計・施工を行うことが今後必要になる。本研究開発プロジェクトでは、合わせると木造住宅の国内シェアの9割以上を占める軸組構法と桝組壁工法を対象として、分別解体・再資源化を行いやすくするための設計・施工法を提案し、既存の設計・施工法を部分的に見直すことによって解体時の分別手間や廃棄物の最終処分量をどの程度軽減できるか、その可能性について検討した。

#### 2) 桝組壁工法の設計・施工技術

##### 概要

桝組壁工法による木造住宅は1974年の桝組壁工法がオープン化されて以降着実にそのストック数が増えてきており、ここ数年は毎年約8万戸が新設されている。このストックが今後解体時期を迎えることになる。桝組壁工法は桝材に面材を釘打ちした工法であり1棟の住宅に約4万から約5万本の釘が使われている。このため、桝組壁工法による木造住宅は一般に軸組構法による木造住宅よりも解体と分別に手間がかかると言われている。

建築研究所では社団法人日本ツーバイフォー建築協会と共同で、これから建てる桝組壁工法住宅について将来解体される時の解体手間を軽減し、解体材の再資源化率を向上させるために必要な設計・施工技術を開発し、実大実験を通じてその有効性についての検証を行った。

##### 既存構法の分析

桝組壁工法住宅の解体現場を見ると、解体時の問題点と技術的な課題が見えてくる。当プロジェクトでは、桝組壁工法による建築物の各部位について、その接合仕様について整理し、解体・分別する際に支障となる要因について分析した。また、分別・再資源化を行いやすくするために必要な構法上の対策について検討した。表1に解体時の問題点と技術的な課題を整理した結果を抜粋して示す。このような技術的な課題に対する解答を一つ一つ見つけてゆくこ

とにより、木造住宅を少しずつ分別解体・再資源化しやすいものに少しずつ変えてゆくことが可能である。

表1 解体時の問題点と技術的な課題(例)

解体時の問題点	技術的な課題
野地合板を取り外す際に釘を1本ずつ抜くと手間がかかる。	取り外しやすい接合方法の開発。
野地合板に防水紙を留めつけるためのステーブルが残る。	ステーブル留めにかわる接合方法の開発。
小屋組の解体を高所で行う場合、解体に手間がかかる。	高所での解体を容易にする接合方法の開発。
まぐさ、まぐさ受けなど2枚以上の製材等を釘接合した部材の分解に手間がかかる。	2枚以上の製材等を接合する際の接合方法の開発。
壁面材を取り外す際に釘を1本ずつ抜くと手間がかかる。	取り外しやすい接合方法の開発。
石膏ボードは取り外す際に小片になり集めるのに手間がかかる。	石膏ボードが小片にならない解体が行える接合方法の開発。
フローリングを床下地合板に接着すると、合板に接着剤が付着する。	接着しないで施工できるフローリングの開発。
カーペット下地を接着またはステーブル留めすると床下地合板に接着剤またはステーブルが残る。	接着またはステーブル留めを必要としないカーペットの施工方法の開発。
断熱材をステーブル留めするとステーブルが製材等に残る。	ステーブル留めを必要としない断熱材の施工方法の開発。
サッシ枠に防水用の粘着材が付着し残る。	サッシ枠に付着した粘着材を除去できる方法の開発。

#### 要素技術の提案

設計・施工上の改良点としては、例えば、瓦、瓦棧の留め付けにビスを使用する、屋根防水紙の留め付けにステーブルを使用しない、枠材、金物の接合にダブルヘッド釘又はビスを使用する(写真1)、合板の留め付けにダブルヘッド釘又はビスを使用する、外壁仕上げ材にモルタル成形板を使用する、天井石膏ボードの留め付けに金物を使用する、石膏ボードのビス頭がわかるようにビス上にテープを施工する、剥がしやすい壁紙を使用する、ステーブル留めを必要としない断熱材を使用する、コーナー部の3-202を404と2-204により構成する、カーペットの施工にメッシュゴムを使用し、接着・ステーブル留めしない(写真2)はめ込み式のフローリングを使用する、床根太に404材と実合板を用いる(写真3)などを提案した。

#### d. 検証実験

各部の設計・施工方法に改良を加えたことによる効果を検証するために、4畳半大の平屋建てモデル試験棟(写真4)を建設し、施工・解体実験を行った。モデル実験棟の概ねの形状は、

- 1) 床面積：約7.5m<sup>2</sup>(2730×2730mm)
- 2) 階数：1階建て
- 3) 開口部：2つの壁面に掃き出し開口
- 4) 屋根：切り妻(勾配4/10)

である。現在一般的に用いられている方法で施工したの建物(以下「従来型の建物」と呼ぶ)と前述の改良を加えたの建物(以下「改良型の建物」と呼ぶ)の2棟を建設し、両者を解体するのに要する時間と解体材の性状について比較し、各提案の有効性について確認した。

解体時間については、従来型の建物も改良型の建物もともに解体にそれぞれ約2日間を要した(図1)、個々の解体作業の中で多くの時間を要したのは、壁石膏ボードの撤去、小屋組の解体、並びに壁組の解体であり、従来型の建物では、壁石膏ボードの撤去到約4時間、壁組の解体に約3時間、小屋組の解体に約2時間を要した。改良を加えることにより、カーペットの撤去時間は約1/5、壁石膏ボードの撤去時間は約1/2、小屋組の解体時間と床組の解体時間は約1/1.5に短縮され、全解体時間も100分ほど短縮できた。一方、壁の解体時間については改良型の建物の方が多くの時間を要しているが、これは外壁仕上げ材の撤去到時間を要したこと起因する。このような実験結果より、解体手間を減らすためには、壁石膏ボード、壁組、小屋組など解体に時間を要する部分に改良を加えることが効果的であるといえる。石膏ボードの撤去に関しては、開口部廻りの撤去到多くの時間を要しており、開口部や入り隅部分など形



写真1 根太受け金物の接合部にダブルヘッド釘使用



写真2 珪藻土成型板とカーペットの施工



写真3 404材と実合板による床組の施工



写真4 モデル試験棟



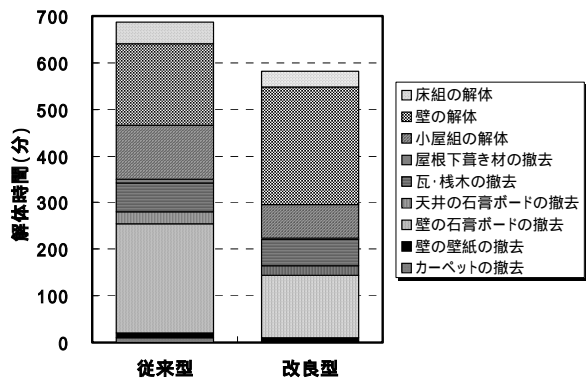


図1 解体時間の比較



写真5 フローリングの撤去 (右:改良型)



写真6 床下地合板の撤去 (右:改良型)

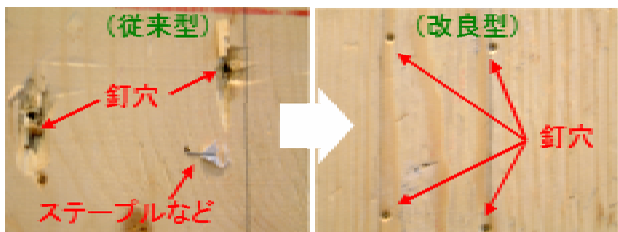


写真7 解体による木材の損傷状況

状が複雑な部分の解体に手間がかかることが確認された。開口部廻りの設計や建物の平面計画などは解体手間に影響するものと考えられ、分別・解体しやすい設計・施工方法を検討する上で留意点の一つである。

一方、設計・施工上の改良による解体材の品質の向上については、例えば、はめ込み式のフローリングを使用することにより床下地合板への接着剤やフローリング裏板の付着を抑制でき解体手間も減らすことができ(写真5) 実付き合板を根太に接着剤を用いないでビス止めることにより根太への合板の付着と解体手間を抑えることができ(写真6) ダブルヘッド釘やビスを用いて面材を留めつ

けることにより解体による面材と枠材の損傷を低減することができた(写真7)。

ここで紹介した結果は一つの事例であり軸組壁工法住宅の全体を代表するものでももちろんない。しかしながら、従来の建物に多少の改良を加えることによって、解体時の手間を減らし、解体材の再資源化の道を広げることが技術的に可能であることを示している。

一方、モデル試験棟により得られた知見をもとに分別・解体容易な軸組壁工法による建物のプロトタイプ(総2階建て、のべ床面積30㎡)を試作し、解体を行い、解体材のリユース性・リサイクル性についての確認を行った。

### 3) 軸組構法の設計・施工技術

軸組構法住宅についても軸組壁工法住宅と同様に、モデル試作棟による施工解体実験と、プロトタイプを用いた施工解体実験を行い、分別・解体容易な建築物の設計法を提案している。モデル試験棟については、一般的な構法によるもの2棟(従来型と改良型)と集成材等を金物で接合したいわゆる金物構法(1棟)の計3棟について施工解体実験を実施し、プロトタイプとしては金物構法に改良を加えたものを提案している。

### 4) 基礎の設計・施工技術

住宅の基礎解体材については中間処理場で粉碎され、路盤材等に利用されているが現状である。本プロジェクトではより高度な再利用を目標とし、リユース基礎の可能性について検討した。基礎をリユースする場合の課題は、耐久性と施工性である。耐久性については数十年経過した後にさらに数十年間使用できるかどうか課題であり、施工性については再設置できる納まりになっているかどうか課題となる。

一つの事例として、ユニットの寸法形状を規格化したプレハブ基礎(写真8)を提案し、その施工・解体の容易性についての検証実験を行った。



写真8 リユース基礎の施工風景

### 5) 設計・施工事例集

以上の研究成果を取りまとめて、「廃棄物発生抑制型木造建築物の設計・施工事例集」の原案を作成した。既存構工法の分析結果、解体工数調査の結果、分別解体しやすい設計・施工方法の提案、実大実験による検証結果などの研究を合

む、同設計・施工事例集の目次は以下の通りである。

1. 廃棄物発生抑制型木造建築物の定義
2. 資源循環型木造建築物の設計の考え方
2.1 設計法の目的と構成
2.2 詳細設計法(再資源化目標管理型設計)
3. 解体・分別・再資源化しやすい軸組構法住宅の設計・施工のヒント
4. 解体・分別・再資源化しやすい枠組壁工法住宅の設計・施工のヒント
5. 再資源化目標の達成度合いの確認方法
5.1 部材・資材の接合・組合せのレーティング
5.2 金物構法における接合部の解体容易性の評価
5.3 材料選択法
6. その他の必要性能の確認(事例)
6.1 概要
6.2 ビス・DHNの接合性能の確認
7. 設計・施工事例
7.1 概要
7.2 軸組構法
7.3 枠組壁構法

**再資源化に関する調査及び技術開発**

**1) 木質系解体材の再資源化の可能性**

木造建築物の解体時に発生する木材の再資源化の可能性について検討することを目的として、機械手併用解体された木造住宅と手解体された木造住宅の解体材について、その数量と特性に関する全数調査を行い、データベースを作成した。調査対象とした建物は軸組構法による木造住宅である。機械手併用解体を行った建物は、延べ床面積 144m<sup>2</sup>、築 26 年の部分 2 階建ての建物であり、手解体を行った建物は、延べ床面積：132m<sup>2</sup>、築 20 年の同じく部分 2 階建ての建物である。解体時に発生した解体材をほぼ全量収集し、発生数量、形状寸法、体積、重量、損傷の程度、付着物の存在状況についての調査を行っている。収集した解

解体材の品質・特性に関する調査データを取りまとめた解体材データベースを作成した。解体材データベースは、手解体材と機械手併用解体材について用意されており、EXCELシートとして作成している。図 2 及び図 3 に手解体材と機械手併用解体材のデータベース (EXCEL シート) を示す。

このデータベースを用いることにより、手解体材と機械手併用解体材の再資源化の可能性についての分析を事例的に行うことが可能である。例えば、リユースが可能な解体材の条件を、ほぞ穴がないこと、欠き込みがないこと、ボルト穴がないこと、損傷がないこと、腐朽がないこととすると、図 4 に示すように、この条件を満たす解体材は、材の長さに制限を設けなければ、手解体材と機械手併用解体材ともに約 4 割 (端柄材等のリユースに適さないものも含む) となる。また、材の長さに制限を設けることにより条件を満たす解体材の量は減り、材長制限が長いほど条件を満たす解体材の量が少なくなる。また、材長に制限を設けた場合には、機械手併用解体材よりも手解体材の

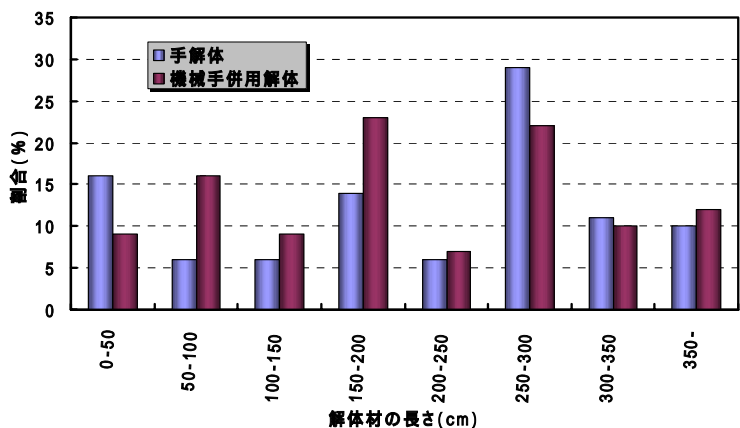


図 4 長さ別の解体材排出量 (比率)



図 2 手解体材データベース

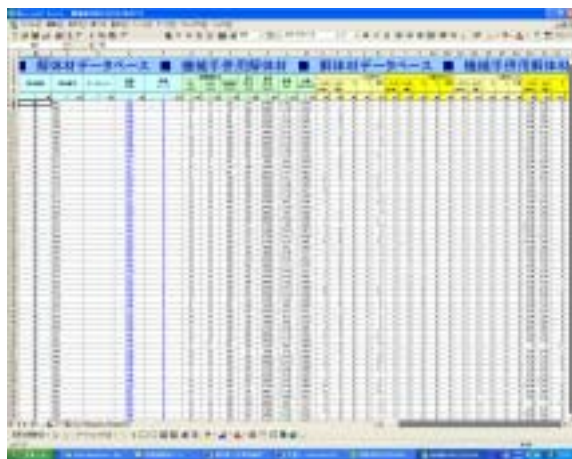


図 3 機械解体材データベース

方が条件を満足する解体材の割合が多くなり、丁寧に解体することによって品質のよい解体材がより多く得られることがわかる。

## 2) 仕上げ材等の再資源化の可能性

仕上げ材の再資源化については、発生量を設計図書からの拾い出すとともに、実際の解体実験等により木造住宅の解体工事から発生する仕上げ材料の種類と量を調査し、年代別、工法別特徴についての分析を行い、主要な建築材料について、「投入量の推定」、「除去排出量の推定」、「再資源化技術への取り組み状況」、「具体的な再資源化技術の内容」、「具体的な分別技術の内容」等の内容をライフサイクルの各段階で整理した。その結果、解体時における再資源化が現状では非常に少ないことが再確認された。また、実際に分別解体実験を実施し、仕上げ材料の分別の現実的な可能性、分別作業に関する人工の調査等を実施した。得られた結果を分析し、仕上げ材料の分別の可能性、分別向上ための構法や工法の改良の可能性について検討した。

## 物質循環算定手法の開発

### 1) ツールの入力と出力

本プロジェクトで開発したツールにおける入力項目は概ね以下の通りである。

- (1) 施工部位の入力
- (2) 部位ごとに建材名称と使用量を入力
- (3) 建材ごとに JIS 及び JAS における区分を入力
- (4) 建設時の歩留まりの入力
- (5) 再生利用率の入力
- (6) 再生利用方法の入力
- (7) 廃棄区分の入力
- (8) 処理方法の入力

入力項目のうち(4)から(7)については調査分析結果に基づく基本データがプログラムに納められており、基本データと異なる場合のみ入力を行う構造となっている。一方、入力したデータを用いて計算される項目は以下の通りである。

- (1) 全建設資材投入量
- (2) JIS、JAS の建材区分別投入量
- (3) 資源投入量
- (4) 建材製造に関わる全エネルギー消費量、CO2 排出量
- (5) 新築廃材の全排出量
- (6) 新築廃材の再利用方法と再利用量
- (7) 解体材の全排出量

(8) 解体材の再利用方法と再利用量

(9) 解体材の最終処分量

(10) 解体・中間処理・最終処分に係るエネルギー消費量、CO2 排出量

### 2) ツールのメイン画面

図5にツールのメインメニュー画面を示す。建物部位ごとに建材名称、単位寸法、数量を入力できるようになっており、住宅メーカー等が使用する積算資料を見ながら入力できるフォーマットとした。建材名称等を入力したのちに各建材に対してJISまたはJASの区分を指定することにより、原単位を自動的に取得し、建物全体としての資源消費量、廃棄物排出量等が計算される。

### 3) ケーススタディ

前述の分別・解体が容易な枠組壁工法によるモデル試験体を対象として上記ツールを用いてケーススタディを行った結果を図6に示す。構法に改良を加えることにより204材の中には著しく損傷が少ないものが解体材として得られるので、このような材はリユースできると仮定すると、構法に改良を加えた建物では「木くず」として処理する解体材の排出量が減少するという結果が算出される。また、こ



図5 ツールのメイン画面

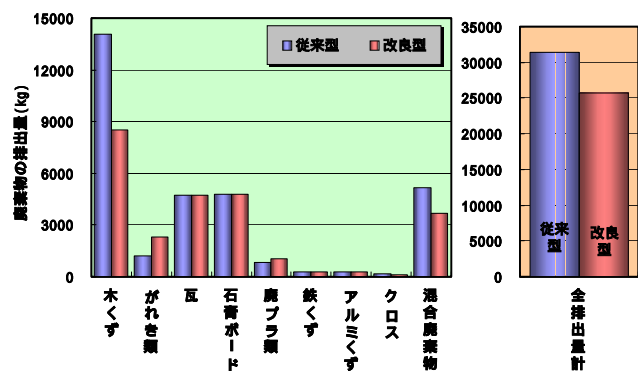


図6 廃棄物の排出量

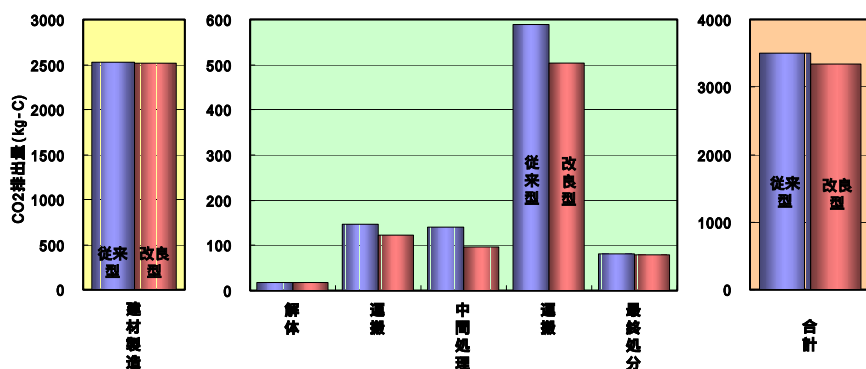


図7 建材製造及び解体・処理過程でのCO2排出量

れにともない処理過程で排出されるCO<sub>2</sub>の量も軽減されるという計算結果が得られる(図7)。

### おわりに

本プロジェクトでは、解体時における廃棄物の発生抑制について設計・計画段階で配慮した木造構工法の設計・施工技術を確認すること、建築材料及び部材の合理的な再資源化技術を確認すること、技術普及のために必要な木造建築物の物質循環評価手法を提案することを目的としたものである。総合的な技術開発として現在講じる広範囲な調査方法、再資源化技術および評価手法の提案を行った。いうまでもなく、その提案の運用は地理的な条件あるいは地域の有している施設のポテンシャルによって一律ではなく、地域の条件に立脚した多様な組み合わせによることになるであろう。

本研究の成果が今後、木造建築物から排出される各種解体材の合理的で無理のない再資源化を実現し、循環型社会の構築に少しでも寄与することを期待したい。

### 参考文献

- 1) 建設分野におけるダイオキシン類汚染土壌対策・廃棄物発生抑制技術の開発 平成12年度 建築分野 報告書(2001)。
- 2) 建設分野におけるダイオキシン類汚染土壌対策・廃棄物発生抑制技術の開発(建築分野)・木造建築物の再資源化・資源循環化技術の開発 平成13年度 報告書(2002)。
- 3) 資源循環型社会及び安全な環境形成のための建築・都市基盤整備技術の開発 - 木質系建築廃棄物発生抑制技術の開発 - 木造建築物の再資源化・資源循環化技術の開発 最終報告書(2003)。