

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 中島史郎

研究課題

**木造建築物の
再資源化・資源循環化技術の開発**

平成12年度－14年度

現状と課題

必要な技術

再資源化技術

設計・施工技術

評価技術

まとめ

現状と課題



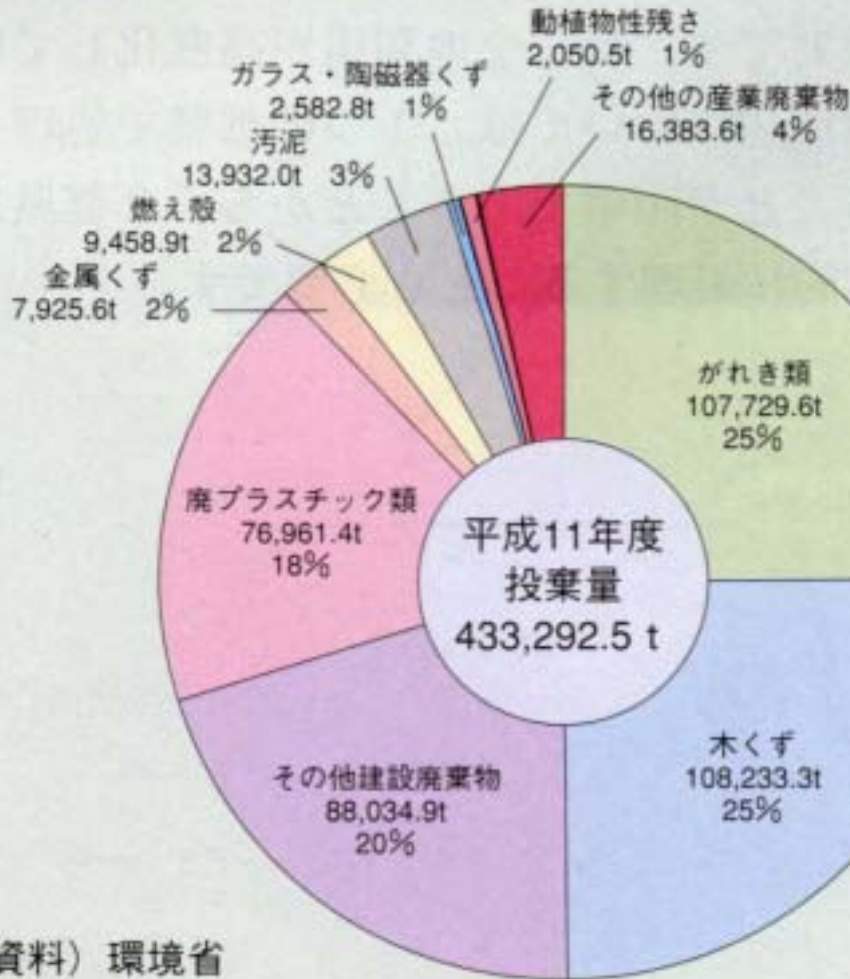
建設系廃棄物のリサイクル率

リサイクル率 (%)

	年度	リサイクル率 (%)		
		平成 2	平成 7	平成 1 2
建設廃棄物		4 2	5 8	8 6
アスファルト・コンクリート塊		5 0	8 1	9 5
コンクリート塊		4 8	6 5	9 8
<u>建設混合廃棄物</u>		<u>3 1</u>	<u>1 1</u>	<u>1 1</u>
<u>建設廃木材</u>		<u>5 6</u>	<u>4 0</u>	<u>3 9</u>
建設汚泥		2 1	1 4	9



廃棄物の不法投棄量(平成11年度)



建設以外廃棄物計
29.8%

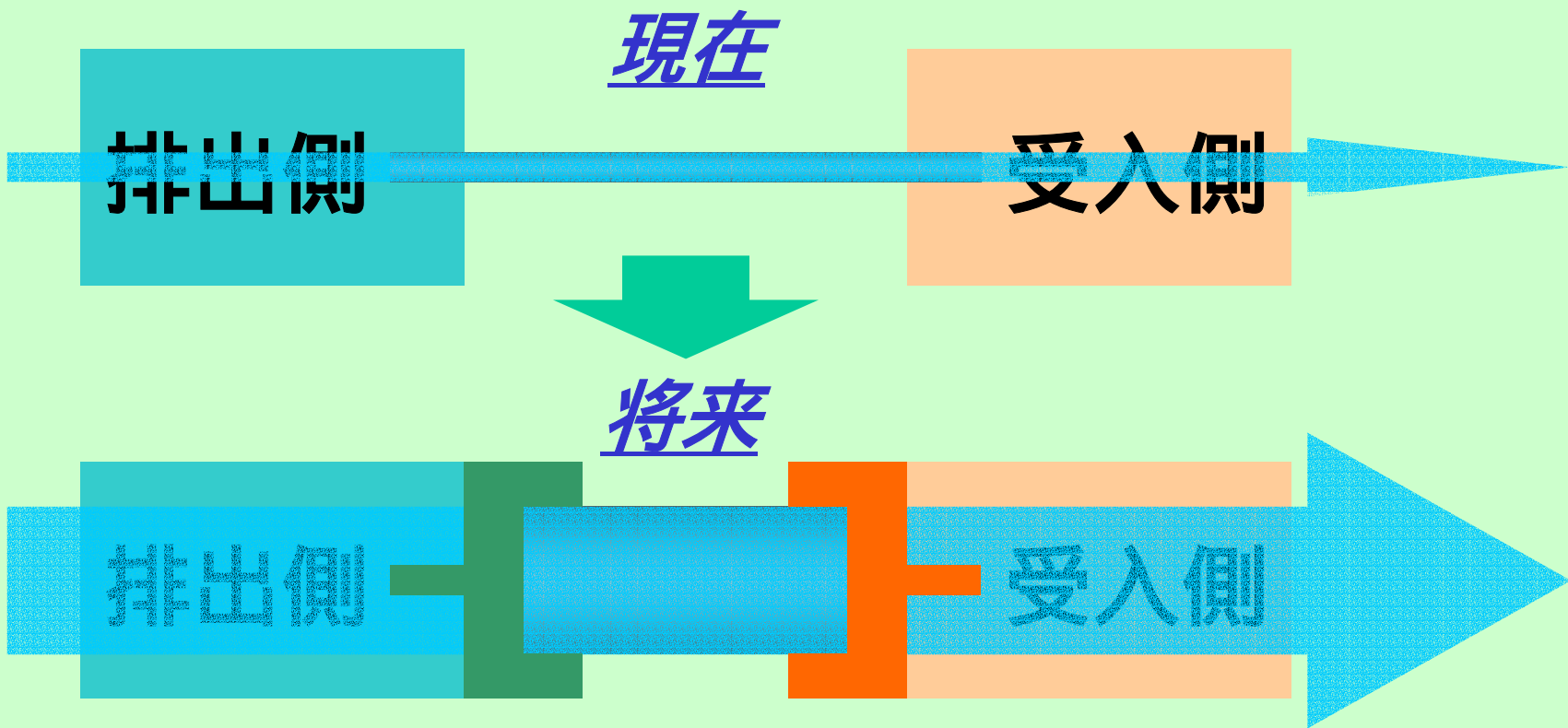
建設廃棄物計
70.2%



(資料) 環境省



再資源化率向上のための技術



解体技術
設計・施工技術

再資源化技術

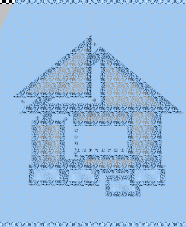


研究開発の概要

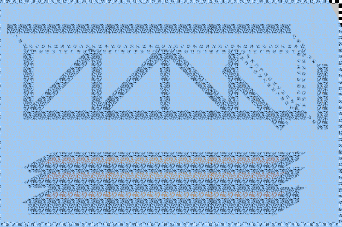
技術開発の内容

資源循環型建築構工法の開発

建物の設計



材料・部材の設計

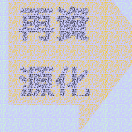
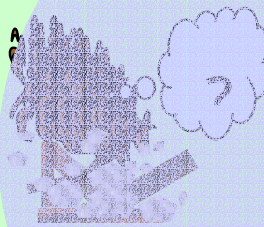


< 建てる時 >

設計計画段階において廃棄物発生抑制と資源循環に配慮した新しい建築構工法の開発

再資源化技術の開発

合理的な再資源化技術の開発



< 壊したとき >

建設・解体時に発生する建築資材の合理的な再資源化技術の開発

算定技術の開発

建築物における資源循環と再資源化を算定するための技術の開発



解体除却材の再資源化についての提案

分別解体・再資源化し易い木造建築物の設計・施工技術の提案

廃棄物発生抑制に対する評価手法の提案

再資源化技術



建築解体材の中間処理



紙

鋼材

プラスチック

解体現場にて分別された解体材



建築解体材の中間処理



木チップ



再資源化要素技術の整理，提案・開発

再資源化の方法

建物のリユース

建築部材としてリユース

建築以外の用途でリユース

再構成して建築部材としてリサイクル

マルチング材としてリサイクル（建築）

マルチング材としてリサイクル（他分野）

良質チップとしてリサイクル（建築）

良質チップとしてリサイクル（他分野）

低質チップとしてリサイクル（建築）

低質チップとしてリサイクル（他分野）

炭化してリサイクル（建築）

炭化してリサイクル（他分野）

サーマルリサイクル

適正処理（埋め立て）

適正処理（焼却）

再資源化要素技術の提案・開発

- ・ 解体木材の再使用に関する検討

... 建築部材としてリユース

- ・ 再生木質ボードの利用拡大に関する検討

... 良質チップとしてリサイクル（建築）

... 低質チップとしてリサイクル（建築）

- ・ 解体木材を原料とする高機能性木質ボードの製造と性能

... 良質チップとしてリサイクル（建築）

... 低質チップとしてリサイクル（建築）

- ・ SST の開発 ... 再構成して建築部材としてリサイクル

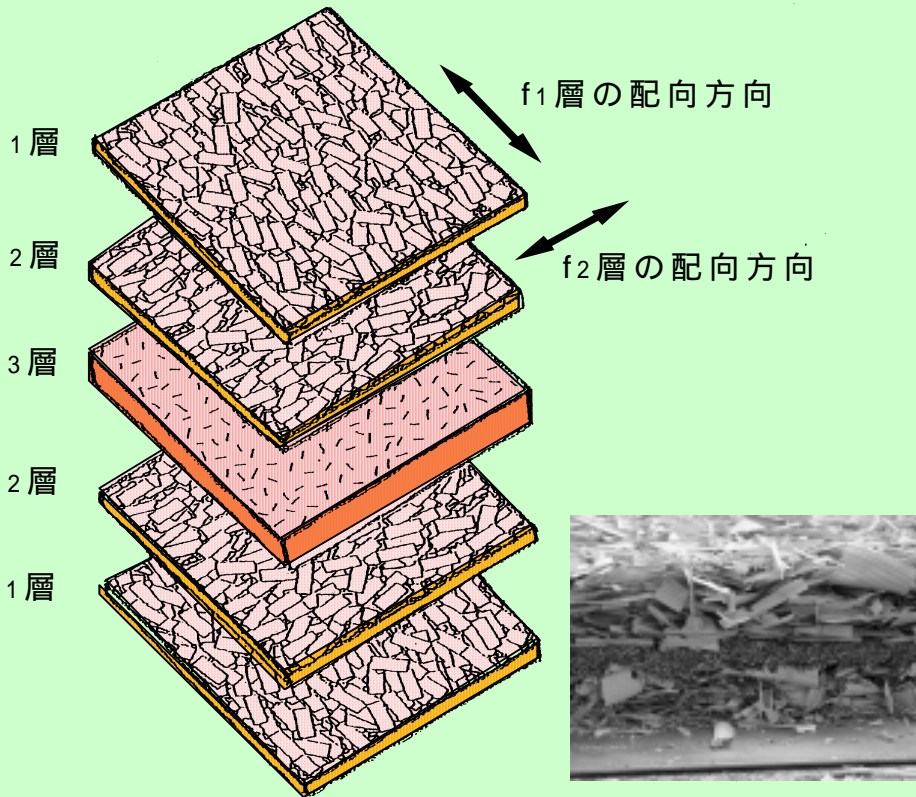
- ・ FJ 軸材料の製造の可能性

... 再構成して建築部材としてリサイクル

- ・ 短尺ラミナで構成される集成材製造の可能性

... 再構成して建築部材としてリサイクル

提案した再資源化技術（例）



解体材を原料とする
木質5層ボード



解体材を原料とする
SST



解体材の品質に関するデータベースの作成

木造住宅解体木材

破損の大小
付加価値
材の大きさ

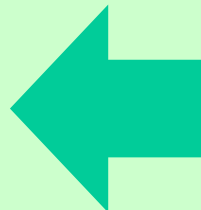
調査



手解体 2 棟
機械手併用解体 1 棟
解体材に関する
データベース



解体材の品質に応じた
再資源化の可能性に
ついての整理



技術資料



解体木材調査概要



【調査内容】

部材

柱・梁・桁・もや・
小角材・面材料
などすべての材

項目

数量
形状寸法
重量
異物の付着状況



機械手併用解体材の調査



解体材の分類・分析調査の様子



調査した解体材（例）



解体材約2000体
について調査

梁材

解体材の調査の記録例

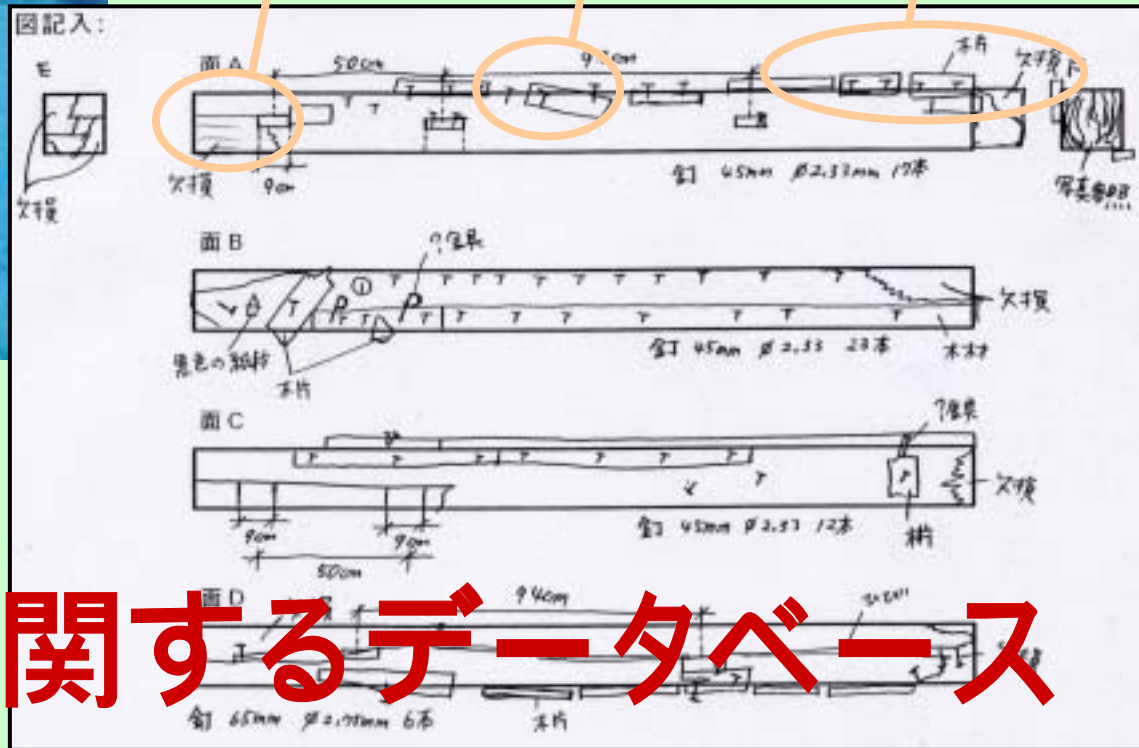


梁試験体

割れ

釘

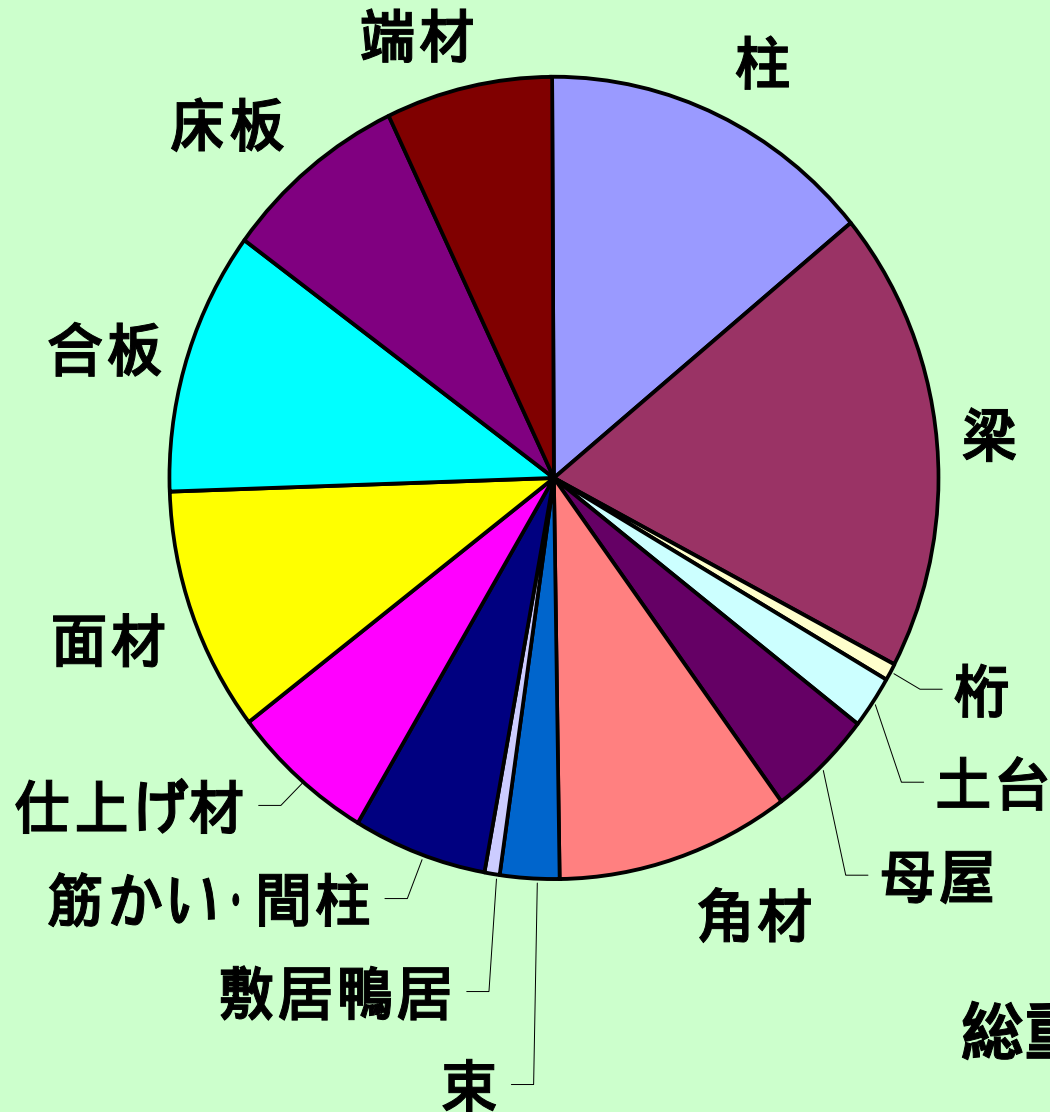
木片



解体材に関するデータベース



各部材の排出量



総重量：8540kg



手解体による解体木材調査





解体材（柱材）の比較



手解体材

2002.



機械手併用解体材



解体材データベース

This screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet titled 'Microsoft Excel - 解体材データベース'. The spreadsheet contains a large table with multiple columns and rows of data. The header row is highlighted in yellow. The data is organized into several columns, with some cells containing text and others containing numerical values. The spreadsheet is displayed in a window with a standard Windows interface.

手解体材

This screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet titled 'Microsoft Excel - 解体材データベース'. The spreadsheet contains a large table with multiple columns and rows of data. The header row is highlighted in yellow. The data is organized into several columns, with some cells containing text and others containing numerical values. The spreadsheet is displayed in a window with a standard Windows interface.

機械手併用解体材



古材としてリユースできる可能性がある 解体材の量

解体材を再使用する場合

ほぞ穴、欠き込み、ボルト穴などによる断面欠損がないこと。
損傷や腐朽などによる材の損傷がないこと。
金属類、その他の付着物がないこと。

計算結果	
排出量	764 kg
重量比率	9.4%

計算結果	
排出量	585 kg
重量比率	7.8%



解体材をボード原料として利用する際の適正

生物劣化(腐朽)による損傷がないこと。

金属類、その他の付着物がないこと、または、除去が容易なこと。

防腐処理材が含まれていないこと。

接着剤・塗料が含まれていないこと、または、その種類が明らかであること。

特定のボード類に対しては、ほぞ穴、欠き込み、ボルト穴などの断面欠損がないこと。



木質再生ボードの原料として利用できる 可能性がある解体材の量

■ 解体材データベース ■ 手解体材 ■

計算結果	
排出量	3685 kg
重量比率	45.3%

■ 解体材データベース ■ 機械手併用解体材 ■

計算結果	
排出量	3461 kg
重量比率	45.7%



建築解体材の中間処理の実態



廃プラスチック類



解体と分別・再資源化



軸組構法

詳細解体実験

- 通常の手解体と手間をかけた手解体
- 全解体工程のビデオ記録
- 解体時間の測定
- 解体手間の測定
- 各種解体材の分別・再資源化の可能性

塩化ビニル管・継ぎ手



塩ビ管の汚れ拭き取り作業



引取り可能



外側の汚れをとれば引取り可能



内側の汚れがひどく引取不可能

設計・施工技術



建築解体材の中間処理の実態



混合廃棄物の荒選別

建築解体材の中間処理の実態



混合廃棄物のライン選別



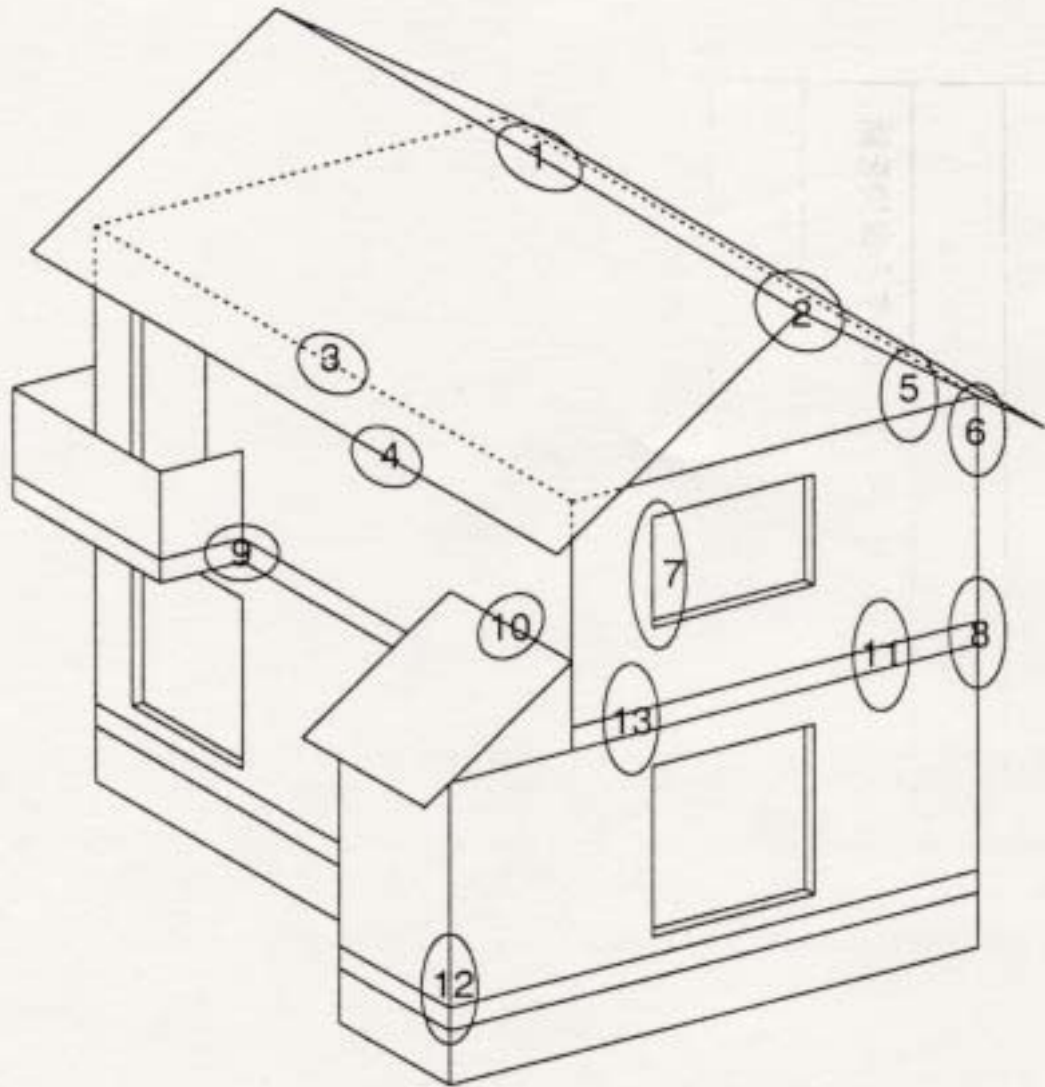
解体材

既存の設計・施工法における
分別解体・再資源化の限界

分別解体・再資源化への配慮した
初期設計の必要性

その他の解体材

桝組壁工法の分析



1.
 - ・棟木-たるき
 - ・野地合板-たるき-棟木
 - ・トラス-合板受
 - ・野地合板-トラス
2.
 - ・屋根梁-たるき
 - ・ケラバ棟部 (屋根梁-妻壁)
 - ・寄棟部 (棟木-たるき)
3.
 - ・たるき-頭つなぎ
 - ・たるき-金物-外壁
 - ・トラス-頭つなぎ
 - ・トラス-金物-外壁
 - ・トラス-振れ止め
4.
 - ・軒、けらば (たるき)
 - ・軒、けらば (たるき-合板)
5.
 - ・妻壁-頭つなぎ
6.
 - ・妻壁合板-外壁合板
7.
 - ・まぐさ-まぐさ受け
 - ・同上-合板



分析シート(小屋組：棟木-たるき)

【構工法】

枠組壁工法

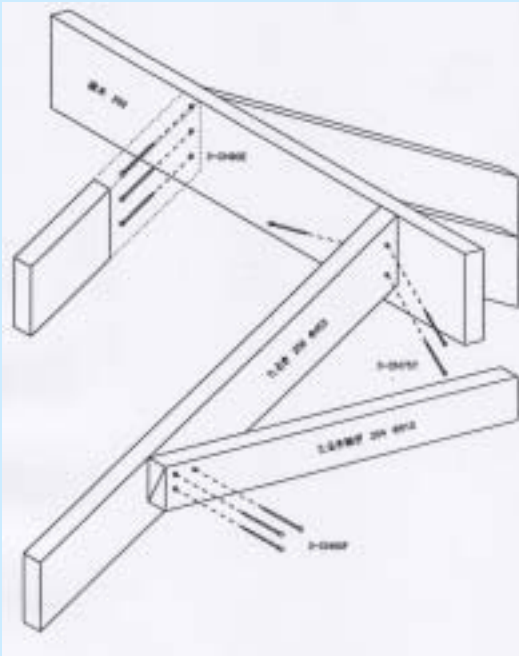
【部位】

小屋組

【対象】

棟木 - たるき

【仕様の図面】



【解説】

棟木、たるき、たるきつなぎは釘 CN75 または釘 CN90 で釘接合されている。

【解体・再利用する時の課題】

- ・ 解体作業手順は概ね以下のように考えられる。
 - たるきつなぎの撤去
 - たるきの撤去
 - 棟木の撤去
- ・ たるきを撤去した段階で不安定な構造となる可能性がある。
- ・ 高所で CN75、CN90 を抜くのに手間がかかる。
- ・ 釘を抜く過程において小屋組を構成する各部材が損傷する可能性がある。

【考えられる構法上の改良点】

- ・ 高所での解体作業が容易になるよう、小屋組を構成する各部材の接合方法を見直す。例えば、ダブルヘッド釘を使用可能な部分に用いる。あるいは、ビスにより各部材を接合する。
- ・ 解体時に各部材の損傷の程度が極力少なくなるような接合方法を採用する。例えば、ダブルヘッド釘を使用可能な部分に用いる。あるいは、ビスにより各部材を接合する。

【備考】

ダブルヘッド釘、ビスを使用する際には、接合性能についての確認が必要である。また、構造規定上の整理も必要とされる。



設計上の改良点(例)



← ダブルヘッド釘又はビスにより各部材を接合する

防水紙をホットメルトを用いて施工する →



← 金物を用いてサイディングを取り付ける

傘釘などをによりラスを留めつける →



← サッシ枠のコーキングされる部分をシールする

カーペットと下地を接着せずに施工する →





施工・解体実験

モデル試験棟（手前：従来型，奥：改良型）

従来型



改良型

解体日	解体作業項目	解体時間
1日目	従来型試験棟の解体	
	09:18-09:28	カーペット撤去
	09:23-09:23	壁の壁紙撤去
	09:38-11:58	壁石膏ボード撤去
	13:22-14:56	壁石膏ボード撤去
	14:29-14:56	天井石膏ボード撤去
	15:27-15:52	和瓦撤去
	15:53-16:24	石綿スレート板撤去
2日目	09:08-09:13	瓦棧撤去
	09:13-09:21	屋根防水紙撤去
	09:21-11:16	小屋組解体
	11:16-12:00	壁組解体
	13:08-15:00	壁組解体
	15:42-16:02	壁組解体
	16:02-16:33	床組解体
3日目	09:07-09:21	床組解体
	改良型試験棟の解体	
	13:23-13:25	カーペット撤去
	13:25-15:00	壁紙・壁石膏ボード撤去
	15:43-16:30	壁石膏ボード撤去
4日目	09:07-09:27	天井石膏ボード撤去
	09:35-10:32	瓦撤去
	11:01-11:04	屋根防水紙撤去
	11:04-12:00	野地合板撤去
	13:05-13:20	小屋組解体
	13:20-14:38	壁組解体
	15:15-16:20	壁組解体
5日目	09:12-10:36	壁組解体
	11:10-11:36	壁組解体
		床組解体

解体に要した時間

従来型

686分

改良型

582分

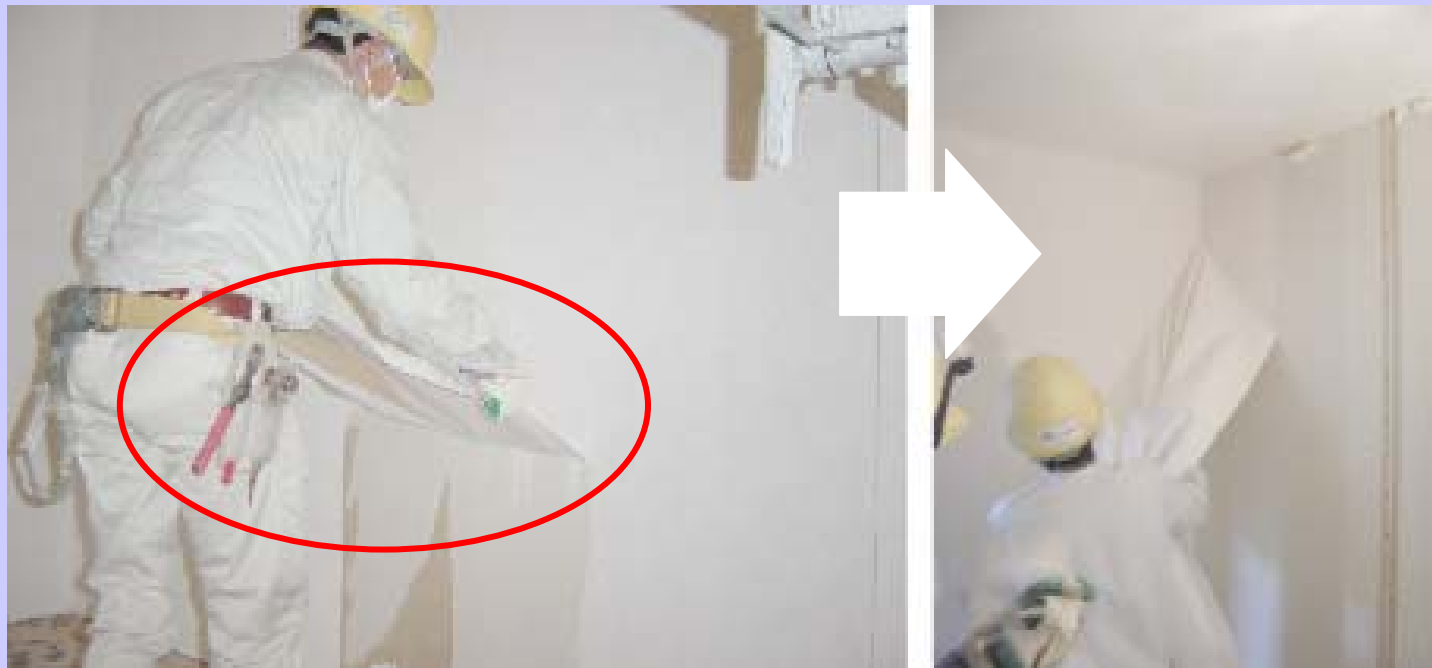


改良による効果(1)

クロスの材質の違いにより
剥がしやすさが異なる

ビニルクロス

布クロス





改良による効果(2)

フローリング取り外し手間が軽減できる
下地合板に接着剤が付着・残存しない





改良による効果(3)

カーペットの取り外し手間が軽減できる

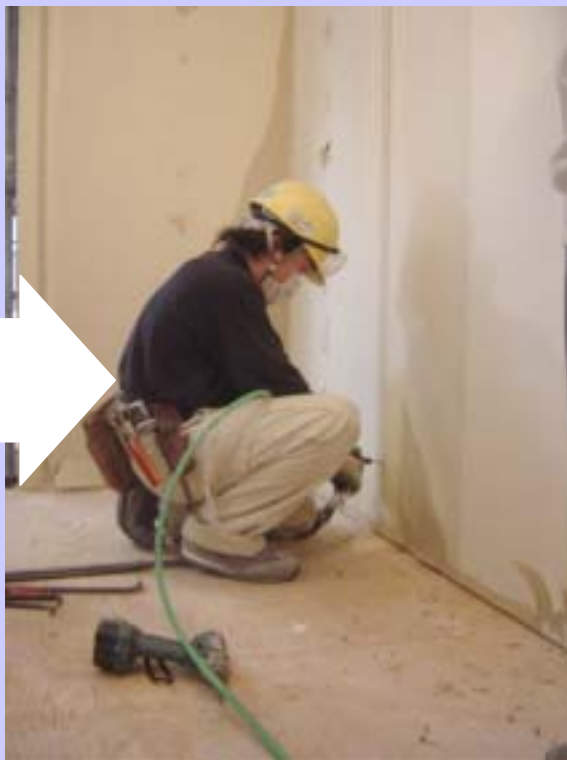
下地合板に接着剤,ステープル,布が付着しない





改良による効果(4)

せっこうボード回収手間が軽減できる





改良による効果(5)

釘・ビス頭を出すのが容易





改良による効果(6)

瓦の留め付け部分の部分的な損傷が軽減できる





改良による効果(7)

ダブルヘッド釘を用いることにより
釘頭を出す手間が軽減される





改良による効果(8)

床下地剥がし手間が削減される
床下地合板が根太に付着しない





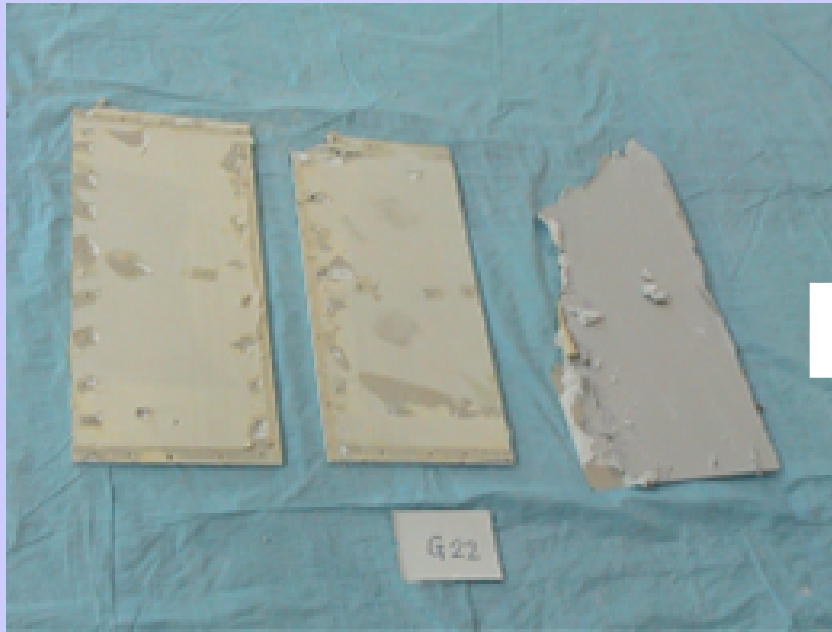
解体材の損傷程度の測定





解体材の損傷程度の比較

改良なし



改良あり





設計・施工上の課題

石膏ボードの釘頭を
出すためのテープの
材質と施工方法

サッシ廻りの
石膏ボードの施工法

はめ込みタイプの
フローリングの
クッション下地の施工法

サッシ廻りの
防水テープの材質

胴縁と面材の
留め付け方法の整合

サイディングの
目地加工の方法

・ ・ ・ ・ ・



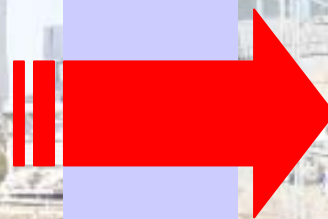
設計・施工法の改良と再検証



施工



解体



**2階建て試験棟の
施工・解体実験**



要素技術の例 (1 / 5)



ビス釘による施工





要素技術の例 (2 / 5)



ワッシャーネール
による施工





要素技術の例 (3 / 5)



ビスによる
施工



はめ込み式の
断熱材の利用



要素技術の例 (4 / 5)



石膏ボードを
留め付けるビス頭
のテーピング処理



はめ込み式の
フローリング

粘着テープによる
カーペットの施工





要素技術の例 (5 / 5)



開口部の防水：
防水パンの使用
サッシのテーピング処理



パネル化



効果（事例） 1 / 3



石膏ボード
の撤去



モルタル
の撤去



効果（事例） 2 / 3



屋根下
葺き材
の撤去



面材と枠材の
解体



効果（事例） 3 / 3



金物の撤去



サッシの撤去



軸組構法 施工・解体実験

モデル試験棟

(左：大壁仕様，右：真壁仕様，奥：金物工法)



金物
工法

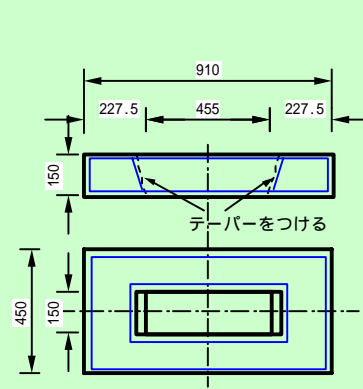
大壁
仕様

真壁
仕様

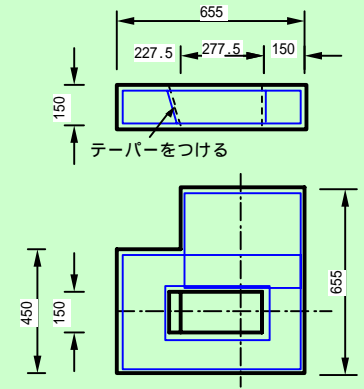
プレハブ 基礎



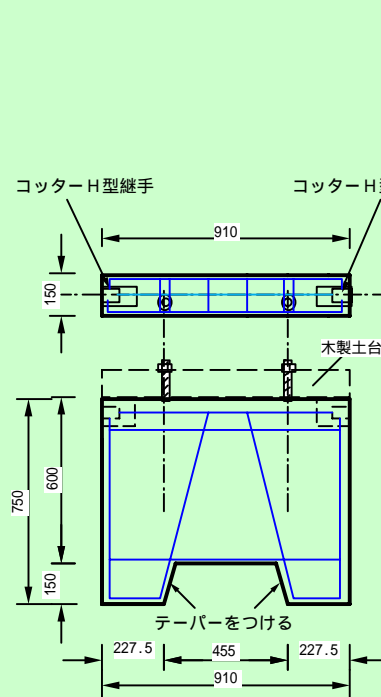
それぞれダブル配筋とする。
鉄筋は異形鉄筋(D13)



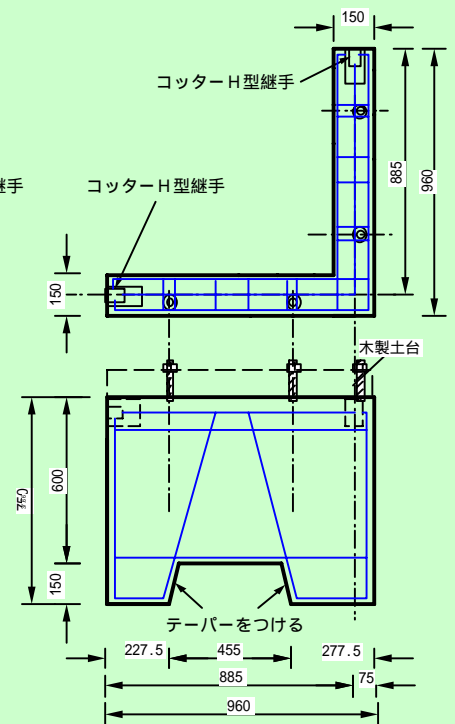
底板部品1(直線用)



底板部品2(コーナー用)



底板部品1(直線用)



底板部品2(コーナー用)



プレハブ基礎の施工・解体



プレハブ基礎のパーツ



プレハブ基礎の施工



プレハブ基礎の施工完了



プレハブ基礎の解体



解体されたプレハブ基礎



従来の基礎(解体)

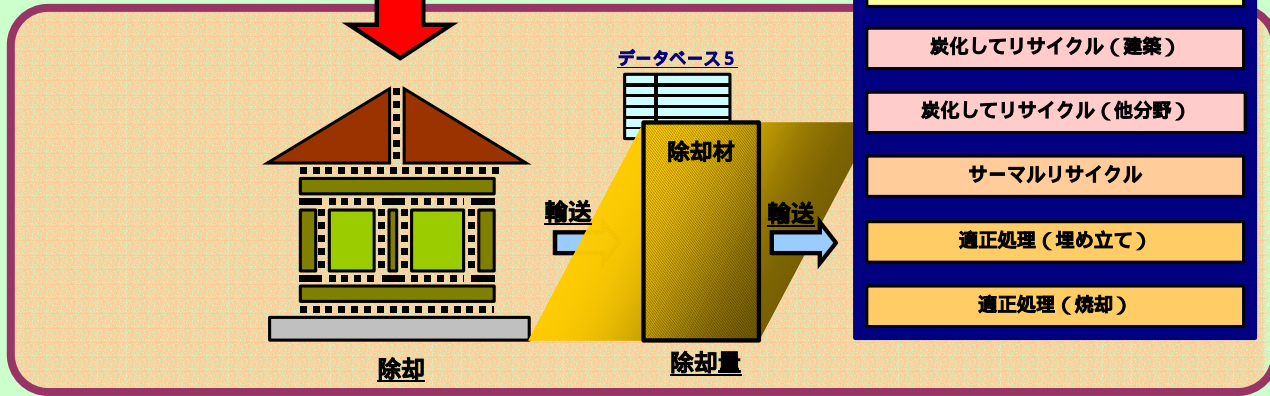
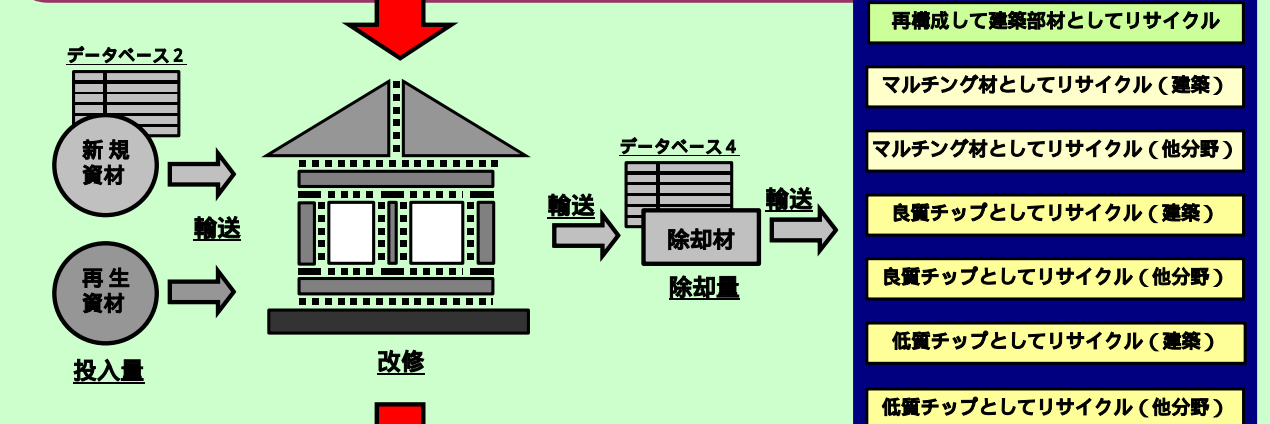
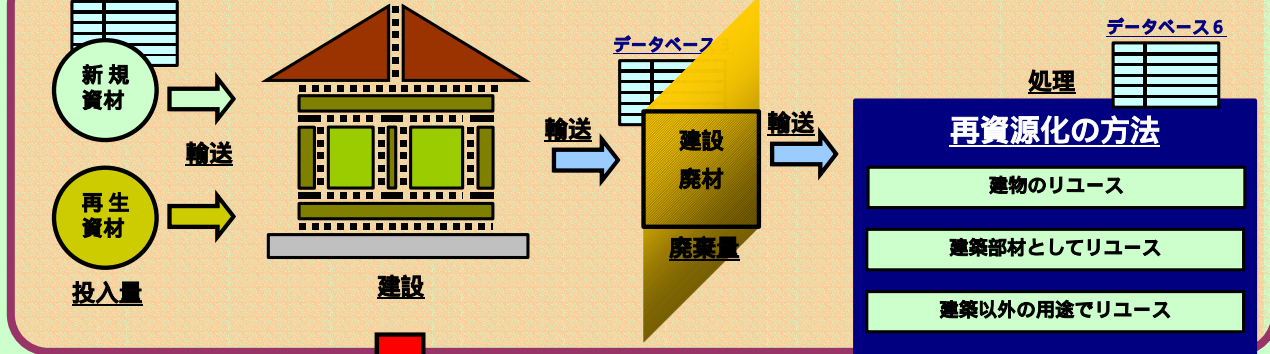


設計・施工技術資料

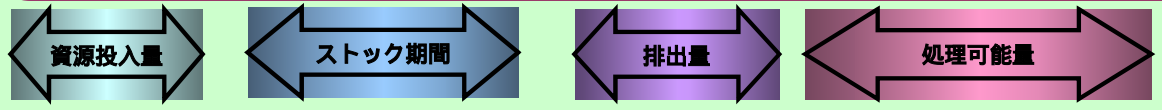
廃棄物発生抑制型木造建築物の設計・施工事例集 目次

- 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
 - 6 . 3 再生面材料の耐力壁用面材としての性能の確認
- 7 . 設計・施工事例
 - 7 . 1 概要
 - 7 . 2 軸組構法
 - 7 . 3 枠組壁構法

評價技術



- ### 再資源化の方法
- 建物のリユース
 - 建築部材としてリユース
 - 建築以外の用途でリユース
 - 再構成して建築部材としてリサイクル
 - マルチング材としてリサイクル (建築)
 - マルチング材としてリサイクル (他分野)
 - 良質チップとしてリサイクル (建築)
 - 良質チップとしてリサイクル (他分野)
 - 低質チップとしてリサイクル (建築)
 - 低質チップとしてリサイクル (他分野)
 - 炭化してリサイクル (建築)
 - 炭化してリサイクル (他分野)
 - サーマルリサイクル
 - 適正処理 (埋め立て)
 - 適正処理 (焼却)



共通指標：CO2 排出量 / エネルギー消費量



データベース

解体材製造時の負荷

解体・処分時の負荷

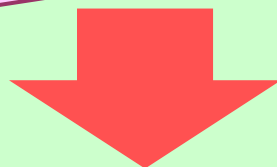
解体材の種類別の排出量

解体工事によるE消費量・CO2排出量

解体材の運搬に係るE消費量・CO2排出量

解体材の処理に係るE消費量・CO2排出量

業界への調査 + 既存データの分析



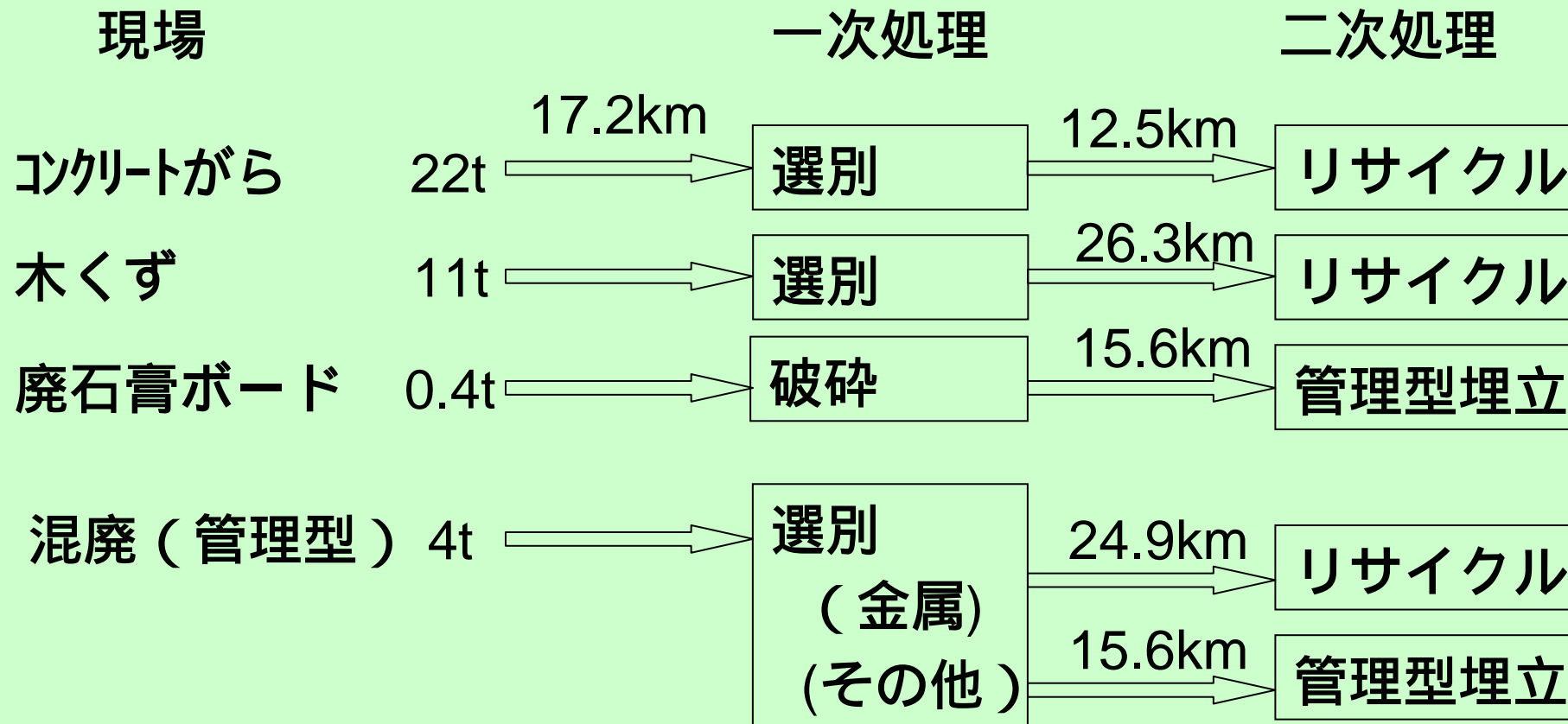
原単位データベースの作成

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	
		E	unit	CO2	unit		E	unit	CO2	unit		E	unit	CO2	unit	
2	JISに規定区分(第3層層)	規格名称(第1層層)				種類A(第3層層)					種類B(第3層層)					
3	骨材・骨材材料	構造用軽量コンクリート骨材	1,892	kJ/kg	0.050	kg-C/kg	人工軽量骨材	3,709	kJ/kg	0.090	kg-C/kg	粗骨材	3,628	kJ/kg	0.0783	kg-C/kg
4												細骨材	3,790	kJ/kg	0.0810	kg-C/kg
5							天然軽量骨材	1,720	kJ/kg	0.063	kg-C/kg	粗骨材	1,966	kJ/kg	0.0717	kg-C/kg
6												細骨材	1,475	kJ/kg	0.0538	kg-C/kg
7							副産物骨材	247	kJ/kg	0.009	kg-C/kg	粗骨材	298	kJ/kg	0.0108	kg-C/kg
8												細骨材	197	kJ/kg	0.0072	kg-C/kg
9	コンクリート用砕石及び砕砂		136	kJ/kg	0.009	kg-C/kg										
10	バーライト		3,646	kJ/kg	0.076	kg-C/kg	プラスター・モルタル用	3,764	kJ/kg	0.079	kg-C/kg					
11							コンクリート用	3,529	kJ/kg	0.074	kg-C/kg					
12	コンクリート用スラグ骨材 - 高炉スラグ骨材		496	kJ/kg	0.009	kg-C/kg	高炉スラグ粗骨材	688	kJ/kg	0.014	kg-C/kg					
13							高炉スラグ細骨材	283	kJ/kg	0.004	kg-C/kg					
14	コンクリート用スラグ骨材 - フェロニッケルスラグ骨材		882	kJ/kg	0.018	kg-C/kg										
15	コンクリート用スラグ骨材 - 銅スラグ骨材		591	kJ/kg	0.012	kg-C/kg										
16	コンクリート用炭素材		4,366	kJ/kg	0.091	kg-C/kg										
17	コンクリート用比重量調整剤		23,277	kJ/kg	0.149	kg-C/kg	減水材	43,060	kJ/kg	0.0901	kg-C/kg	標準型	43,060	kJ/kg	0.090	kg-C/kg
18												減水型	43,060	kJ/kg	0.090	kg-C/kg
19												従来型	43,060	kJ/kg	0.090	kg-C/kg
20							AE減水材	10,674	kJ/kg	0.0223	kg-C/kg	標準型	11,644	kJ/kg	0.024	kg-C/kg
21												従来型	11,644	kJ/kg	0.024	kg-C/kg
22												従来型	8,738	kJ/kg	0.018	kg-C/kg
23							高性能AE減水材	16,076	kJ/kg	0.3357	kg-C/kg	標準型	15,040	kJ/kg	0.314	kg-C/kg
24												従来型	15,040	kJ/kg	0.314	kg-C/kg
25												従来型	18,145	kJ/kg	0.379	kg-C/kg
26							建築用コンクリート用助剤(別)	12,614	kJ/kg	0.263	kg-C/kg					
29	JISに規定区分(第3層層)	規格名称(第1層層)				種類A(第3層層)					種類B(第3層層)					
30	コンクリート・セメント	レディーミックスコンクリート	563	kJ/kg	0.021	kg-C/kg	普通コンクリート	452	kJ/kg	0.016	kg-C/kg					
31							軽量コンクリート	618	kJ/kg	0.023	kg-C/kg					
32							建築用コンクリート	618	kJ/kg	0.023	kg-C/kg					
33		ポルトランドセメント	3,895	kJ/kg	0.091	kg-C/kg	普通ポルトランドセメント	3,124	kJ/kg	0.144	kg-C/kg					
34							早強ポルトランドセメント	3,818	kJ/kg	0.176	kg-C/kg					
35							超早強ポルトランドセメント	4,998	kJ/kg	0.230	kg-C/kg					
36							中熱ポルトランドセメント	3,228	kJ/kg	0.149	kg-C/kg					
37							低熱ポルトランドセメント	3,228	kJ/kg	0.149	kg-C/kg					
38							新形高熱ポルトランドセメント	3,228	kJ/kg	0.149	kg-C/kg					
39		高炉セメント	2,950	kJ/kg	0.136	kg-C/kg	A種	3,054	kJ/kg	0.141	kg-C/kg					
40							B種	2,950	kJ/kg	0.136	kg-C/kg					
41							C種	2,846	kJ/kg	0.131	kg-C/kg					
42		シリカセメント	3,471	kJ/kg	0.160	kg-C/kg	A種	3,471	kJ/kg	0.160	kg-C/kg					
43							B種	3,471	kJ/kg	0.160	kg-C/kg					
44							C種	3,471	kJ/kg	0.160	kg-C/kg					
45		フライアッシュセメント	4,209	kJ/kg	0.197	kg-C/kg	A種	4,165	kJ/kg	0.192	kg-C/kg					
46							B種	4,209	kJ/kg	0.200	kg-C/kg					
47							C種	4,204	kJ/kg	0.198	kg-C/kg					
50	JISに規定区分(第3層層)	規格名称(第1層層)				種類A(第3層層)					種類B(第3層層)					
51	コンクリート用装飾タイル・タイル	陶磁器質タイル	3,455	kJ/kg	0.0611	kg-C/kg	磁器質タイル	4,465	kJ/kg	0.079	kg-C/kg	焼付タイル	4,552	kJ/kg	0.083	kg-C/kg
52												無焼付タイル	4,238	kJ/kg	0.075	kg-C/kg
53							陶器質タイル	2,875	kJ/kg	0.050	kg-C/kg	焼付タイル	2,875	kJ/kg	0.050	kg-C/kg
54												無焼付タイル	2,875	kJ/kg	0.050	kg-C/kg



解体材の移動・処理方法

マニフェスト伝票を用いた解体材の処理についての調査・分析（シナリオ化）





物質循環算定プログラム

入力項目

- (1) 施工部位
- (2) 部位ごとに建材名称と使用量
- (3) 建材ごとにJIS及びJASにおける区分
- (4) 建設時の歩留まり
- (5) 再生利用率
- (6) 廃棄物の区分
- (7) 廃棄物の処理パターン



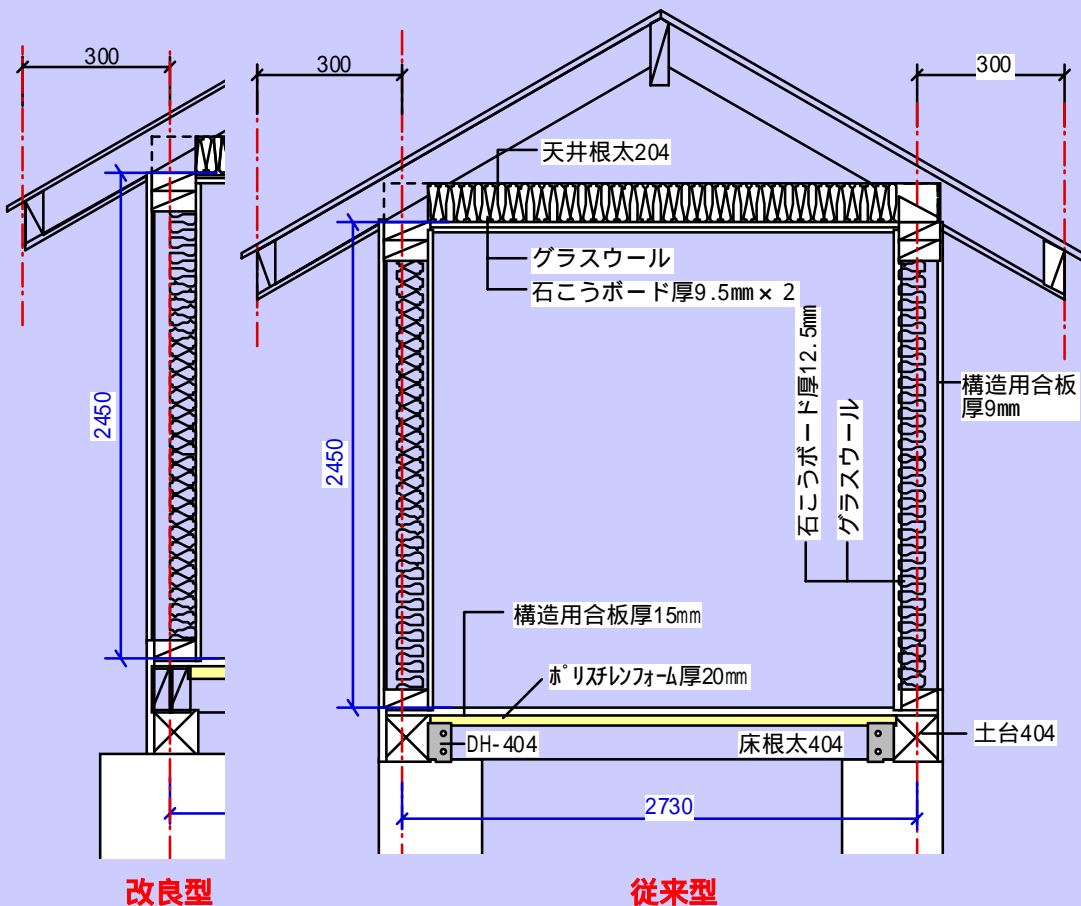
物質循環算定プログラム

出力項目

- (1) 全建設資材投入量
- (2) 資源投入量
- (3) 投入される全建材の製造に係るエネルギー消費量・CO2排出量
- (4) 建築時廃材の全排出量
- (5) 解体材の全排出量
- (6) 解体材の再利用・再生利用量
- (7) 解体材の最終処分量
- (8) 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



プログラムによる計算の例

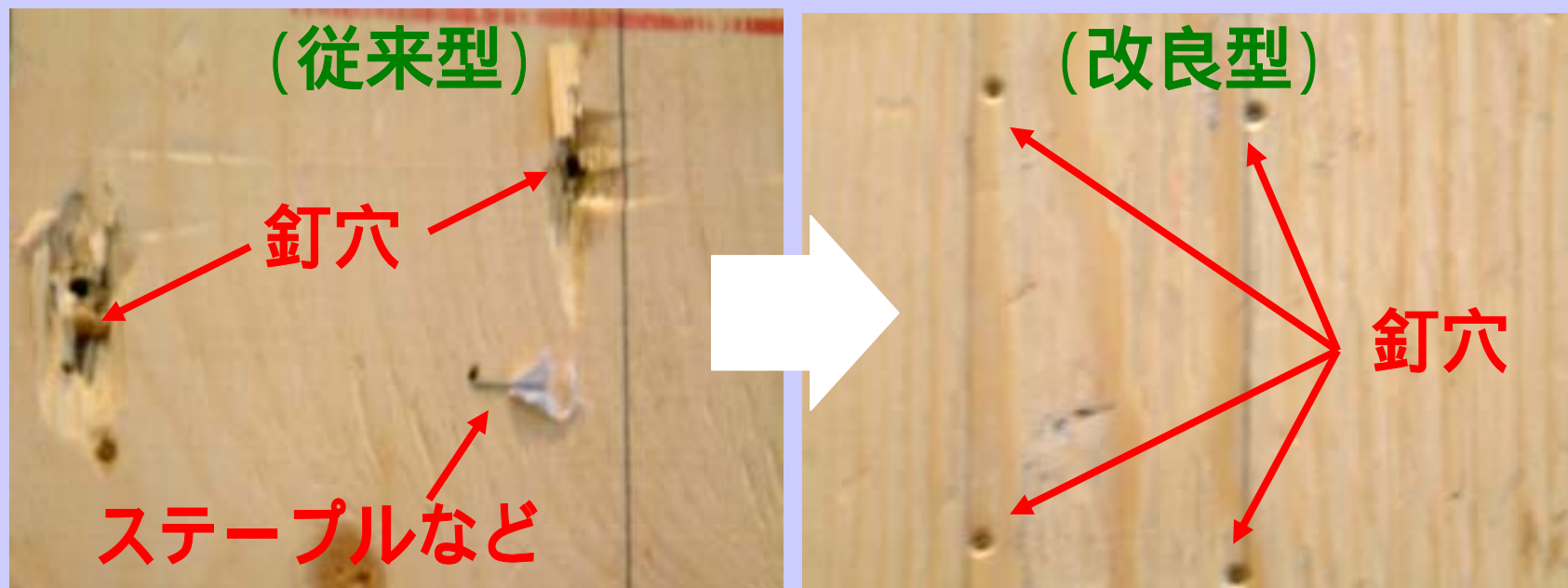


枠組壁工法試作棟



改良による効果（例）

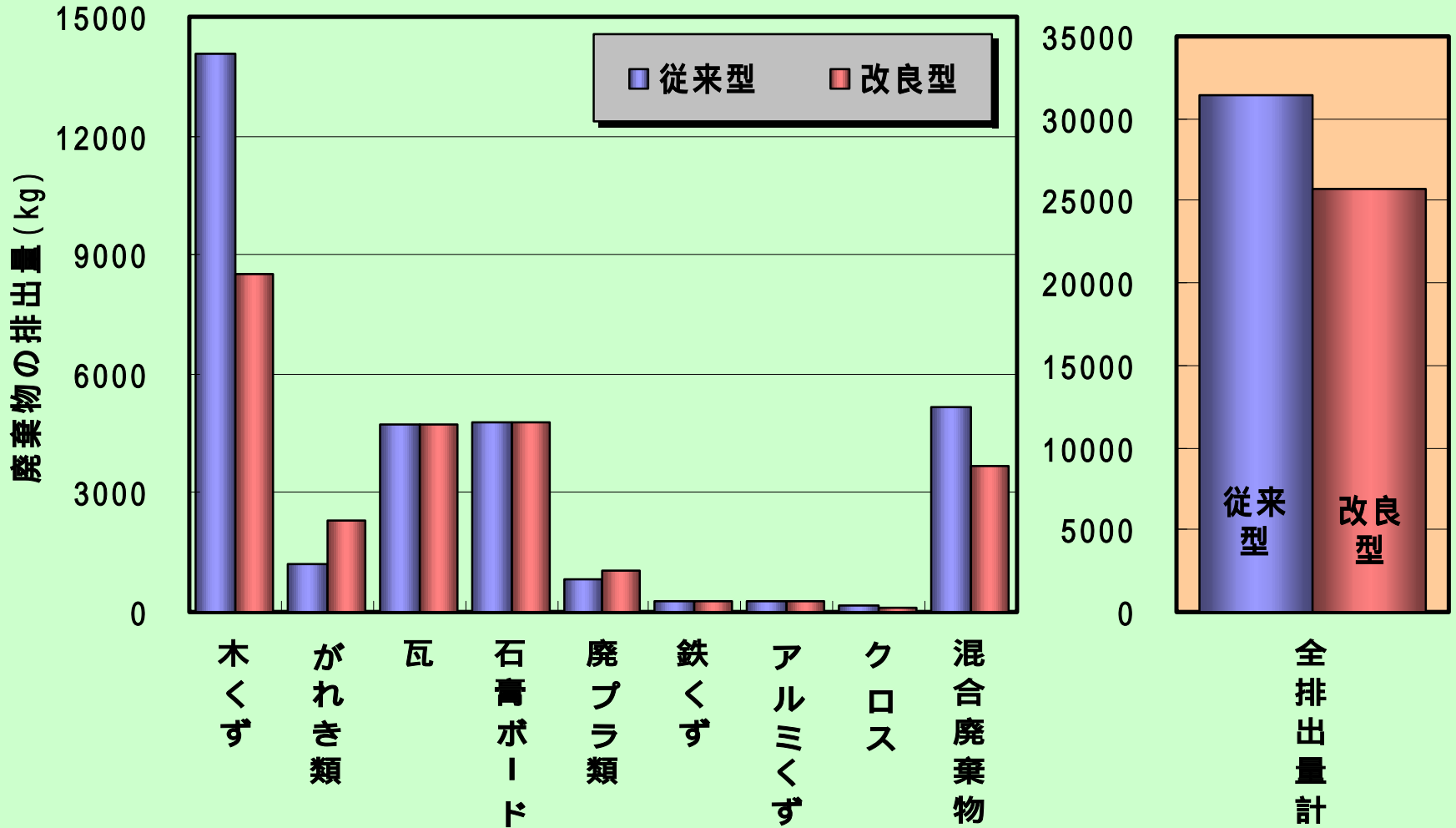
釘を抜くときにできる損傷が少ない
ステーブル・防水紙などが残存しない



損傷の少ない1204材の一部は再使用または
集成材のラミナ等として再利用できると仮定



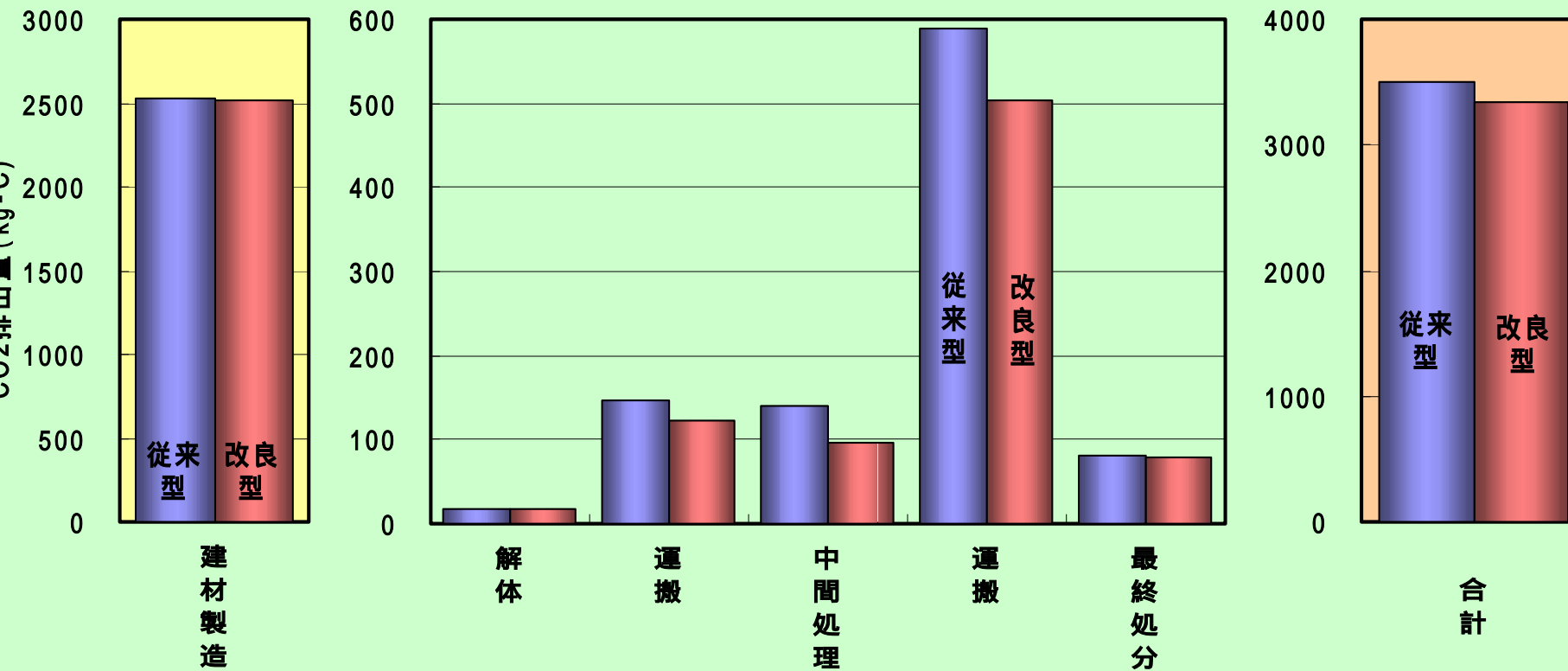
処理される廃棄物の排出量



120m²の大きさの住宅を想定し排出量を16倍して計算



CO2排出量



まとめ

解体・分別技術

再資源化要素技術

設計・施工技術

技術

情報伝達ネットワーク

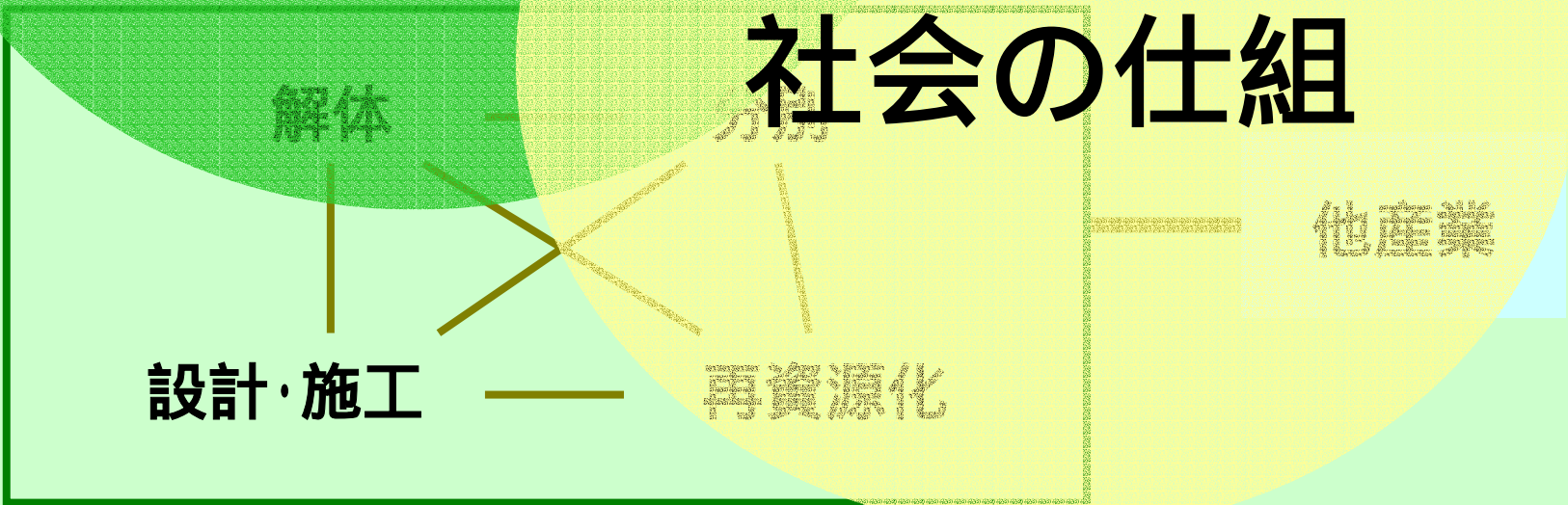
社会の仕組

解体

設計・施工

再資源化

生産



本研究プロジェクトを実施するに
あたり多大なるご指導・ご協力を
賜りました関係各位に
心より謝意を表します