木造住宅の建設時の CO₂排出量削減を目指した対策と評価

在来工法による木造戸建住宅の環境負荷予測に関する研究 その3

A COUNTERMEASURE AND ASSESSMENT FOR REDUCING CO₂ EMISSIONS CONNECTED
WITH THE CONSTRUCTION OF DETACHED WOODEN HOUSES

Predicting the environmental impact of constructing detached wooden houses by conventional methods Part 3

高村 秀紀*, 浅野 良晴**

Hideki TAKAMURA and Yoshiharu ASANO

This paper focuses on how to reduce CO₂ emissions regarding construction materials. We compared section by section the amount of CO₂ emissions from the four different houses. Next, we made an improved plan that took away the first floor that was constructed with reinforced concrete, as well as the interior decorations which emitted less CO₂ during their factory production. The following results were obtained.

- 1) We determined which sections of the four houses had less construction waste. We determined which sections of the four houses emitted less CO₂ during their production.
- 2) The total amount of CO₂ emissions per floor from construction materials is 318.8kg-CO₂/m²~498.1kg-CO₂/m².
- 3) The proposed countermeasure that took away the first floor reduced CO₂ emissions by 15.7×10³kg-CO₂, a decrease of 30.4%. The proposed countermeasure that used the interior decorations, which emitted less CO₂ during their factory production, reduced CO₂ emissions by 5.1×10³kg-CO₂, a decrease of 9.9%. The countermeasure that the authors described in their improved plan reduced CO₂ emissions by 20.8×10³kg-CO₂, a decrease of 40.3%.

Keywords : detached wooden houses, construction stage, measurement survey, reducing CO₂ emissions木造戸建住宅, 建設時, 実測調査, CO₂排出量削減

1.はじめに

住宅分野における CO₂ 排出量削減は重要な課題となっている。住宅の LCCO₂ に着目すると住宅は長期にわたり使用されるため、住宅運用時のエネルギー消費に起因する CO₂ 排出量の占める割合が多くなる。そのため、住宅運用時のエネルギー消費量に関する調査研究や削減方法に関する研究が多数報告されている^{例え ば 1)~3)}。一方、住宅建設に起因する CO₂ 排出量が我が国の CO₂ 排出量の総量に占める割合は 5.2%と推計されており⁴⁾、決して無視することができないことから、住宅建設に起因する CO₂ 排出量の削減方法について早急に検討する必要がある。しかしながら、住宅建設時の CO₂ 排出量削減に対する研究は未だ少ないのが現状である。

建設時の CO₂ 排出量に着目した研究として、横山ら⁵⁾は低資源消費型の事務所ビルを提案し、建物のライフサイクルにおける資源消費量について従来建物との比較検討を詳細に行っている。しかしながら、戸建住宅を対象としていない。野城ら^{6)~7)}や岡ら⁸⁾は住宅建設時に投入される資材重量から住宅建設時の CO₂ 排出量を詳細に算出している。しかしながら、資材重量を図面や見積書から算出しており、実際の投入量との比較を行っていない。近田ら⁹⁾は工業化住宅を対象に構成部材に関する詳細な実態調査を行い、これに基づき

設計時に活用できる CO₂ 排出量の簡易推計法を作成している。

本研究は在来工法による木造戸建住宅の建設時の CO₂ 排出量の削減方法を検討することを目的としている。この目的に対して、既報¹⁰⁾では長野市内に建設された 1 階部分を RC 造とし、2・3 階部分を在来木造軸組工法とする住宅を対象に蓄積資材^{注1)}と副産物^{注1)}の材種と重量の実測調査を行い、対象住宅の蓄積資材^{注1)}と副産物^{注1)}の重量の実態を明らかにした。そして、環境負荷評価指標として蓄積資材^{注1)}と副産物^{注1)}の重量と CO₂ 排出量の床面積あたりの値を整理した。さらに前報¹¹⁾では、既報¹⁰⁾の住宅を含む 4 棟の木造住宅を対象に、設計時において設計図書から算出した資材重量（以下、積算重量）と施工時における資材の実測重量の比較を基礎と躯体、屋根、外壁を構成する資材について行った。そして、日本建築学会公表の CO₂ 排出原単位⁴⁾を積算重量と実測重量に乗じて CO₂ 排出量を算出し、床面積あたりの CO₂ 排出量の差を明らかにした。そして、実測重量に基づき算出した CO₂ 排出量を積算重量に基づき算出した CO₂ 排出量から算出するための係数を整理した。

住宅建設時の CO₂ 排出量削減のための検討事項として、①用途が無い部位を見直し、適切な用途計画を行い、経済設計を行うことによる使用資材の削減、②工事別の使用資材の見直し、③端材の削減

* 信州大学工学部建築学科, 信州大学山岳科学総合研究所
助教・博士(工学)

** 信州大学工学部建築学科, 信州大学山岳科学総合研究所
教授・工博

Assistant Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Shinshu University and
Institute of Mountain Science, Shinshu University, Dr. Eng.

Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Shinshu University and Institute of
Mountain Science, Shinshu University, Dr. Eng.

図 1 1 階平面図 (住宅 A)

図 3 1 階平面図 (住宅 B)

図 5 1 階平面図 (住宅 C)

図 7 1 階平面図 (住宅 D)

図 2 2 階平面図 (住宅 A)

図 4 2 階平面図 (住宅 B)

図 6 2 階平面図 (住宅 C)

図 8 2 階平面図 (住宅 D)

が考えられる。そのため本論文は前報¹¹⁾で報告した 4 棟の住宅に対して、実測した蓄積資材^{注1)}と副産物^{注2)}の延床面積あたりの重量を工事別に整理し、比較した。そして、日本建築学会公表の CO₂ 排出原単位⁴⁾を蓄積資材^{注1)}と副産物^{注2)}の実測重量に乗じて CO₂ 排出量を算出し、工事別に延床面積あたりの CO₂ 排出量を整理し、比較した。さらに、工事別の比較結果を基に部位と使用資材の見直しを行った。特に、住宅 A の 1 階部分は積雪対策として施主の個別事情により計画、設計された部位であり、近年の積雪、降雪状況では利用されていない空間となっている。施主が要望する個別事情が必要なものか否か計画段階で十分に検討し、適切な用途計画を行うことで経済設計が可能となる。これにより、使用される資材が削減され、住宅建設時の CO₂ 排出量削減につながると考える。よって、用途を見直すことによる住宅建設時の CO₂ 排出量削減効果を定量化した。次に、使用する内装材を CO₂ 排出原単位の小さい資材に変更し、CO₂ 排出量の削減量を算出した。そして、部位と使用資材を見直すことによる住宅建設時の CO₂ 排出量の削減量を明らかにした。

2. 対象建物概要

対象建物 4 棟はいずれも在来木造軸組工法である。住宅 A は延床面積 162.0m² で高床式基礎 (RC 造部の床面積 : 54.0 m²) を有する 3 階建の住宅である。住宅 B は延床面積 195.3 m² で一部 RC 造の車庫 (RC 造部の床面積 : 22.1 m²) を有する 2 階建の住宅である。また、住宅 C は延床面積 138.6 m² の 2 階建、住宅 D は延床面積 163.6 m² の 2 階建の住宅である。図 1～図 8 に住宅 A～住宅 D の平面図を示す。また、表 1 に住宅 A～住宅 D の建物概要を示す。

3. 蓄積資材重量と副産物重量の実測調査概要

建設現場で着工から竣工までの全ての蓄積資材重量と副産物重量の実測調査を行った。蓄積資材^{注1)}については建設現場に納入される都度、計測者が台ばかりを用いて計測した。副産物^{注2)}については所定の場所に保管し、ある程度まとまった段階で計測者が材種を確認し、材種毎に重量を計測した。実測調査の詳細については前報¹¹⁾に記載されているため本論文では省略する。

表 1 建物概要

	住宅 A	住宅 B	住宅 C	住宅 D
延床面積[m ²]	162.0	195.3	138.6	163.6
1 階延床面積[m ²]	54.0	125.5	76.6	91.9
2 階延床面積[m ²]	54.0	69.7	59.3	71.7
階高[m]	2.4	2.1～3.9	2.4～2.5	2.2～3.7
外壁面積[m ²]	171.0	235.2	154.5	218.0
屋根面積[m ²]	75.0	109.1	141.0	103.0
使用断熱材	グラスウール	グラスウール、押出法ポリスチレンフォーム保温板、ロックウール、ポリエチレンフォーム保温板、硬質ウレタンフォーム保温板	押出法ポリスチレンフォーム保温板	押出法ポリスチレンフォーム保温板
気密層の有無	無	無	有	有
開口部	プラスチック金属複合サッシ、ペアガラス	プラスチック金属複合サッシ、ペアガラス	プラスチックサッシ、ペアガラス	プラスチックサッシ、ペアガラス
外壁仕上	窯業系サイディング	モルタル荒壁仕上	窯業系サイディング	窯業系サイディング
屋根仕上	ガルバリウム鋼板	ガルバリウム鋼板	瓦	ガルバリウム鋼板、瓦
内装 (壁)	塩化ビニル製クロス	珪藻土	塩化ビニル製クロス	塩化ビニル製クロス
内装 (床)	複合フローリング	複合フローリング	複合フローリング	複合フローリング (一部無垢)
暖房方式	PTC 電気床暖房、エアコン	ヒートポンプ式温水床暖房、蓄熱式床暖房、暖炉	太陽熱温水暖房、灯油ボイラーによる温水ルーフヒーター	蓄熱式電気暖房
断熱材施工部位	床、壁、天井	床 (一部基礎)、壁、天井 (一部屋根)	基礎 (立上り部と底盤)、壁、天井	基礎 (立上り部)、壁、屋根
勝手口周辺のコンクリート敷設	無し	有り	無し	無し
平面形状	単純な矩形	単純な矩形ではない	単純な矩形	単純な矩形
サッシの搬入経路	販社経由	販社経由	メーカー直送	販社経由
特記事項	1 階が RC 造の高床式住宅。	RC 造車庫を有する。延床面積と 1 階面積が最大。総 2 階ではない。外壁面積が最大。	太陽熱利用給湯暖房を有する。	壁体内通気工法。小屋裏に電動ファン、電動で開閉する床下ダンパーを有する。

4. 工事別の実測調査結果

4.1 工事区分

蓄積資材^{注1)}と副産物^{注2)}の材種と重量の実測調査結果を工事区分ごとに整理し、4 棟の住宅に対して比較を行った。比較にあたり工事区分を次の9 区分に分類した。分類方法は木造住宅の積算に関する文献^{21)～25)}を参考に区分した。なお、住宅 B における車庫工事に要する資材は基礎工事に要する資材と一緒に搬入され、区分が困難であったため基礎工事に分類した。各工事における主な資材は以下の通りである。

- ① 基礎工事：型枠、鉄筋、アンカーボルト、セパレータ、防湿シート、碎石、コンクリート等
- ② 躯体工事：集成材、端柄材^{注2)}、合板、構造用金物等
- ③ 屋根工事：ガルバリウム鋼板、釘、ビス、アスファルトルーフィング、繊維板等
- ④ 外壁工事：水切り、サイディング接合金物、サイディング、砂、セメント、シーリング剤等
- ⑤ 内装工事：フローリング、造作材、建具金物、釘、ビス、壁紙、石膏ボード、接着剤、畳等
- ⑥ 開口部工事：サッシ、ガラス、シーリング剤等
- ⑦ 断熱・気密工事：押出法ポリスチレンフォーム保温板、現場発泡ウレタン、気密シート、気密テープ、ロックウール、グラスウール等
- ⑧ 設備工事：給水管、給水管継ぎ手、ボルト、蛇口、塩ビ管、塩ビ管継ぎ手、架橋ポリエチレン管、コンクリートます、自然冷媒ヒートポンプ式給湯器、太陽熱給湯器、小屋裏に設置するファン等
- ⑨ 外構工事：フェンス、コンクリート、碎石等

4.2 蓄積資材重量の工事別の比較

延床面積あたりの蓄積資材重量を工事別に比較した結果を表2 に示す。基礎工事では住宅 B の延床面積あたりの蓄積資材重量が最大となった。これは、1 階の面積が他の住宅より大きいため基礎に使用される資材重量が多いことや碎石を蓄熱材として使用しているためである。また、車庫部分の資材も含まれているためである。躯体工事では住宅 C の延床面積あたりの蓄積資材重量が最大となった。これは、住宅 C の製材の使用量が他の住宅に比べて多かったためである。屋根工事では住宅 C の延床面積あたりの資材重量が最大となった。これは住宅 C の屋根材が比重の大きい瓦であったためである。内装工事では住宅 A の延床面積あたりの蓄積資材重量が最小となった。これは、住宅 A の1 階部分が RC 造の高床部分であり、内装仕上げをしていないため延床面積あたりの値が最小となった。また、住宅 D の延床面積あたりの資材重量が最大となった。これは、住宅 D の石膏ボードの使用量が多かったためである。開口部工事でも住宅 A が最小となっているがこれは1 階部分の開口部が少ないためである。他の3 棟の住宅に大きな差はない。断熱工事では、住宅 C の延床面積あたりの蓄積資材重量が最大となった。これは、断熱仕様は他の住宅よりも良く、押出法ポリスチレンフォーム保温板の使用量が多かったためである。設備工事では住宅 C と住宅 D の延床面積あたりの資材重量が大きくなった。住宅 C は太陽熱給湯器などの設備が多いためであり、住宅 D では小屋裏に設置されたファンや電動で開閉する床下ダンパーなどの設備があるためである。外構工事では

表2 延床面積あたりの蓄積資材重量の比較

住宅 工事区分	住宅A (kg/m ²)	住宅B (kg/m ²)	住宅C (kg/m ²)	住宅D (kg/m ²)
基礎	875.4	1,053.5	458.4	568.7
躯体	53.3	73.5	114.2	80.4
屋根	6.6	5.6	54.9	29.8
外壁	13.0	15.2	23.3	17.4
内装	35.5	45.4	49.4	52.4
開口部	2.5	7.2	6.5	7.3
断熱・気密	2.5	4.1	5.7	4.0
設備	8.6	11.5	17.7	22.2
外構	29.6	267.9	92.7	22.7
合計	1,027.2	1,484.0	822.7	805.0

表3 延床面積あたりの副産物重量の比較

住宅 工事区分	住宅A		住宅B		住宅C		住宅D	
	重量 (kg/m ²)	端材の 割合(%)	重量 (kg/m ²)	端材の 割合(%)	重量 (kg/m ²)	端材の 割合(%)	重量 (kg/m ²)	端材の 割合(%)
基礎	1.6	84.2	6.7	96.0	0.7	45.5	0.3	71.5
躯体	2.7	95.8	10.0	98.6	5.3	97.4	7.6	98.5
屋根	0.9	100.0	0.4	66.3	1.7	91.0	1.1	90.8
外壁	2.6	91.3	0.4	65.3	7.1	93.5	5.7	94.5
内装	3.5	73.9	4.9	88.0	3.8	70.0	4.2	70.4
開口部	0.0	0.0	0.0	2.2	0.3	0.0	0.1	0.0
断熱・気密	0.2	74.5	0.5	94.0	0.7	66.4	0.4	78.0
設備	1.1	52.5	0.9	14.1	1.6	8.5	1.0	9.1
外構	0.2	0.0	1.3	64.4	4.4	3.1	1.7	2.1
合計	12.9	81.8	25.1	90.7	25.7	77.7	22.1	84.9

は住宅 B の延床面積あたりの資材重量が最大となった。これは勝手口周りにコンクリートを敷設したためである。

4.3 副産物重量の工事別の比較

延床面積あたりの副産物重量を工事別に比較した結果を表3 に示す。なお、表中の端材の割合は副産物^{注2)}に端材が占める割合を示している。基礎工事では住宅 B の延床面積あたりの副産物重量が最大となった。これは、住宅 B は RC 造の車庫を有することや平面形状が単純な矩形ではないため、型枠の端材が多く生じたためである。躯体工事では住宅 B の延床面積あたりの副産物重量が最大となった。これは、平面形状が単純な矩形でないため、製材と合板の端材が多く生じたためである。屋根工事では住宅 C の延床面積あたりの副産物重量が最大となった。これは、ガルバリウム鋼板に比べて比重の大きい瓦の端材が生じたためである。外壁工事では住宅 C の延床面積あたりの副産物重量が最大となった。これは、サイディングによる端材が多く生じたためである。反対にモルタル荒壁仕上げの住宅 B は延床面積あたりの端材重量が最小となった。内装工事では住宅 B の延床面積あたりの副産物重量が最大となった。これは、平面形状が単純な矩形でないため、石膏ボードの端材の発生量が多かったためである。開口部工事では住宅 C の延床面積あたりの副産物重量が最大となった。これは、サッシが宅急便で搬入されたため梱包材のダンボールの量が多かったためである。断熱工事では住宅 C の延床面積あたりの副産物重量が最大となった。これは、断熱材である押出法ポリスチレンフォーム保温板の端材が多く生じたためである。設備工事では住宅 C の延床面積あたりの副産物重量が最大となった。これは、設備機器の梱包材であるダンボールが多かったためである。外構工事では住宅 C の延床面積あたりの副産物重量が最大となった。これは、設備機器の土台に使用するコンクリートが多量に余ったためである。

5. 工事別のCO₂排出量の比較

5.1 CO₂排出量算出方法

資材のCO₂排出量は各資材の重量に2006年日本建築学会公表のCO₂排出原単位⁴⁾を乗じて資材の生産から流通段階までのCO₂排出量を算出した^{注3)}。なお、CO₂排出原単位の名称が合致しない資材については、その内容に最もふさわしい資材のCO₂排出原単位とした^{注4)}。

5.2 蓄積資材^{注1)}のCO₂排出量の工事別の比較

延床面積あたりの蓄積資材^{注1)}のCO₂排出量を工事別に比較した結果を図10に示す。また、表4に本研究における住宅A～Dと既往の研究^{17), 18)}における延床面積あたりの蓄積資材^{注1)}のCO₂排出量を示す。なお、既往の研究¹⁷⁾の延床面積は123.4m²、既往の研究^{2¹⁸⁾}の延床面積は10棟の平均値で132.4m²である。CO₂排出量については既往の研究^{17), 18)}に記載されている資材重量に2006年日本建築学会公表のCO₂排出原単位⁴⁾を乗じて算出した。住宅B～住宅Dの延床面積あたりの蓄積資材^{注1)}のCO₂排出量は蓄積資材重量に比べて住宅間に差がないことが分かる。

基礎工事では住宅Bの延床面積あたりの蓄積資材^{注1)}のCO₂排出量が最大となった。これは、蓄積資材^{注1)}の重量と同様、コンクリートの使用量が多いためである。躯体工事では、住宅Cの延床面積あたりのCO₂排出量が最大となった。これは、CO₂排出原単位が大きい合板の使用量が多かったためである。屋根工事では住宅Cの延床面積あたりの蓄積資材^{注1)}のCO₂排出量が最大となった。これは、住宅Cの屋根材として使用された瓦のCO₂排出原単位が他の住宅で主に使用しているガルバリウム鋼板のCO₂排出原単位よりも大きいためである。内装工事では住宅Cの延床面積あたりの蓄積資材^{注1)}のCO₂排出量が最大となった。これは、建具の使用量が多いためである。開口部工事では住宅Bの延床面積あたりのCO₂排出量が最大となった。住宅BはCO₂排出原単位が樹脂サッシよりも大きいアルミ樹脂複合サッシを使用していたためである。断熱・気密工事では住宅Cの延床面積あたりのCO₂排出量が最大となった。これは、蓄積資材重量と同様、押出法ポリスチレンフォーム保温板の使用量が多いためである。設備工事では住宅Cの延床面積あたりの蓄積資材^{注1)}のCO₂排出量が最大となった。設備工事における住宅Cと住宅DのCO₂排出量に大きな差はないが、住宅Cのほうが住宅Dよりも延床面積が小さいために延床面積あたりの蓄積資材^{注1)}のCO₂排出量が最大となった。外構工事では住宅Bの延床面積あたりの蓄積資材^{注1)}のCO₂排出量が最大となった。これは、蓄積資材重量と同様、コンクリートの使用量が多いためである。

5.3 副産物^{注1)}のCO₂排出量の工事別の比較

延床面積あたりの副産物^{注1)}のCO₂排出量を工事別に比較した結果を図11に示す。延床面積あたりの副産物^{注1)}のCO₂排出量は住宅Aが13.1kg-CO₂/m²、住宅Bが26.4kg-CO₂/m²、住宅Cが30.7kg-CO₂/m²、住宅Dが21.2kg-CO₂/m²となった。工事別の副産物^{注1)}のCO₂排出量が最大になる理由は副産物重量とほぼ同一となった。従って、本節では詳細な説明を割愛する。

住宅Bと住宅Cの延床面積あたりの副産物^{注1)}のCO₂排出量が他の住宅よりも大きくなった。住宅Bは平面形状が複雑なため、基礎工事における型枠の端材と躯体工事における合板の端材が多く生じた。これらの資材が該当する合板のCO₂排出原単位が他の資材よりも大きいためである。住宅Cは梱包が厳重な設備機器が他の住宅よりも

図10 延床面積あたりの蓄積資材^{注1)}のCO₂排出量の比較

表4 蓄積資材^{注1)}のCO₂排出量の既往の研究^{17), 18)}との比較

[単位: kg-CO ₂ /m ²]					
住宅A	住宅B	住宅C	住宅D	既往の研究 ¹⁷⁾	既往の研究 ^{2¹⁸⁾}
318.8	497.3	498.1	440.9	387.4	570.0

図11 延床面積あたりの副産物^{注1)}のCO₂排出量の比較

図12 変更前の矩形図

図13 変更後の矩形図

多く、ダンボールが多く発生した。ダンボールのCO₂排出原単位は他の資材よりも大きいためである。

6. 部位と使用資材の見直しによる建設時のCO₂排出量削減効果

工事別に延床面積あたりのCO₂排出量を比較した結果、部位の見直しという観点からは、住宅Aの1階部分は積雪対策として施主の個別事情により計画、設計された部位であり、近年の積雪、降雪状況では利用されていない空間となっているため不要と考える。また、

使用資材の見直しという観点からは、工事別の延床面積あたりのCO₂排出量が基礎工事に次いで大きい内装工事が対象となると考えられる。よって、住宅Aについて1階部分のRC造を取り除いた仕様に変更し、部位の見直しによる蓄積資材重量の削減量を算出した。そして、CO₂排出量の削減量を算出した。次に、使用する内装材をCO₂排出原単位の小さい資材に変更し、使用資材の見直しによるCO₂排出量の削減量を算出した。さらに部位と使用資材の見直しによる住宅Aの建設時のCO₂排出量の削減量について算出した。

6.1 部位の見直し

住宅Aの1階部分のRC造を取り除き、木造住宅工事仕様書²⁶⁾に準じて一般的な基礎形状に変更して資材重量の積算を行った。なお木造住宅工事仕様書²⁶⁾に記載されていない資材(結束線、スパーサー、セパレーター等)については、基礎工事業者からのヒアリングにもとづき資材重量の積算を行った。図12に現状の矩計図、図13に1階部分のRC造を取り除いた仕様における矩計図を示す。

6.2 部位の見直しによる資材重量とCO₂排出量の削減量

現状の仕様とRC造を取り除いた仕様の資材重量とCO₂排出量の比較結果を表5に示す。なお、表5は基礎構造の変更に伴う資材が該当する材種のみ記載している。ここで、金属類に該当する資材は鉄筋、結束線、スパーサーである。プラスチック類に該当する資材はスパーサーである。コンクリート及び土石類に該当する資材は捨てコンクリートとコンクリートである。ここで、本論文におけるコンクリート及び土石類に分類される資材は捨てコンクリート、コンクリート、砕石、石膏ボード、サイディング、ケイ酸カルシウム板、セメント、タイル、衛生陶器、アスファルトフェルト等である。捨てコンクリートとは基礎底面を平らに均したり、基礎の中心をマークしたりするために捨て打ちするコンクリートであり蓄積資材^{注1)}として計上している。部位の見直しとして、居住域の面積を同等に確保しつつ、用途の無い部位を取り除いた仕様に変更することにより、住宅A建設時の資材重量を73.4×10³kg減らすことが可能となり、CO₂排出量の削減量は15.7×10³kg-CO₂となった。現状の住宅A建設時のCO₂排出量は51.7×10³kg-CO₂であることから住宅A建設時のCO₂排出量を30.4%削減することが可能となる。

6.3 使用資材の見直し

内装材として使用される石膏ボードやビニルクロス、複合フローリングをこれらの資材よりもCO₂排出原単位が小さい無垢板(檜材)に変更し、資材重量の積算とCO₂排出量を算出した^{注5)}。なお、台所については防火対策として石膏ボードとビニルクロスを使用した。石膏ボードとビニルクロスについては施工面積に実測重量にもとづく単位面積あたりの資材重量を乗じて重量を算出した。檜の無垢板については木材活用辞典¹⁹⁾に記載されている密度を使用して体積から重量を換算した。表6に各部位の面積を示す。

6.4 使用資材の見直しによる資材重量とCO₂排出量削減量

現状の仕様と内装材を変更した仕様の資材重量とCO₂排出量の比較結果を表7に示す。なお、表7は内装材の変更に伴う資材が該当する材種のみ記載している。ここで、木材に該当する資材は無垢板(檜材)、複合フローリングである。金属類に該当する資材はボードジョイントである。プラスチック類に該当する資材は塩化ビニル製クロスである。コンクリート及び土石類に該当する資材は石膏ボードとパテである。ガラス類に該当する資材はボードジョイントであ

表5 蓄積資材重量とCO₂排出量の比較

	資材重量 [kg]		CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]	
	変更前	変更後	変更前	変更後
金属類	3,980.2	1,461.8	3,856.1	1,448.8
プラスチック類	31.3	26.6	76.0	64.8
コンクリート及び土石類	137,805.3	66,881.5	23,522.0	10,236.9
合計	141,816.8	68,369.9	27,454.0	11,750.6

表6 各部位の面積

対象部位	面積 (m ²)
床	93.8
天井 (台所以外の居室)	85.2
天井 (台所)	8.9
壁 (台所以外の居室)	246.8
壁 (台所)	15.8

表7 蓄積資材重量とCO₂排出量の比較

	資材重量 [kg]		CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]	
	変更前	変更後	変更前	変更後
木材	482.8	3,601.1	614.1	1,148.8
金属類	1.3	-	11.8	-
プラスチック類	87.6	8.2	215.3	20.1
コンクリート及び土石類	4,028.4	213.6	5,635.7	298.8
ガラス類	0.3	0.0	0.7	0.0
化学製品	54.5	5.1	129.0	12.1
合計	4,654.9	3,828.0	6,606.6	1,479.8

図14 住宅A建設時のCO₂排出量の比較

る。化学製品に該当する資材は接着剤である。使用資材の見直しとして、内装材をCO₂排出原単位の小さい資材に変更することにより住宅A建設時の資材重量を826.9kg減らすことが可能となり、CO₂排出量の削減量は5.1×10³kg-CO₂となった。現状の住宅Aに対して9.9%のCO₂排出量削減が可能となる。

6.5 CO₂排出量削減効果

1階部分のRC造を取り除き、内装材を変更した仕様による住宅A建設時のCO₂排出量の算出結果を図14に示す。仕様変更後の住宅A建設時のCO₂排出量は30.9×10³kg-CO₂となった。よって、CO₂排出量の削減量は20.8×10³kg-CO₂となり、40.3%の削減が可能となることが分かった。

7. まとめ

本論文は住宅建設時のCO₂排出量を削減する方法を検討するため

に、前報¹¹⁾で報告した 4 棟の住宅に対して、工事別に蓄積資材^{注1)}と副産物^{注2)}の延床面積あたりの重量と CO₂ 排出量を比較した。そして、比較した結果を基に住宅建設時の CO₂ 排出量を削減する方法を検討した。結果以下のことが分かった。

- 1) 今後、建物仕様や施工工務店が異なる住宅について実測調査を行い、蓄積資材^{注1)}と副産物^{注2)}の重量に関する実測データの蓄積に努める必要があるが、本論文において対象とした 4 棟の住宅の実測調査結果からは延床面積あたりの蓄積資材^{注1)}の CO₂ 排出量は 318.8kg-CO₂/m²～498.1 kg-CO₂/m² となった。住宅 B～住宅 D の延床面積あたりの蓄積資材^{注1)}の CO₂ 排出量は 440.9kg-CO₂/m²～498.1 kg-CO₂/m² であり、延床面積あたりの蓄積資材重量に比べて住宅間の差が小さいことが分かった。しかしながら、工事別に比較すると住宅間に大きな差があることが分かった。
- 2) 工事別の蓄積資材^{注1)}と副産物^{注2)}の延床面積あたりの重量と CO₂ 排出量を検討した結果、住宅 A が部位と使用資材の見直しにより、建設時の CO₂ 排出量削減の可能性があることが分かった。実測調査により蓄積資材^{注1)}と副産物^{注2)}の重量に関する詳細なデータベースを構築することができたため、部位と使用資材の変更による CO₂ 排出量の削減量を算出することができた。部位の見直しとして、居住域の面積を同等に確保しつつ、用途の無い部位を取り除いた仕様に変更することによる CO₂ 排出量の削減量は 15.7×10³kg-CO₂ となり住宅 A 建設時の CO₂ 排出量を 30.4%削減することが可能となることが分かった。使用資材の見直しとして、内装材を CO₂ 排出原単位の小さい資材に変更することによる CO₂ 排出量の削減量は 5.1×10³kg-CO₂ となり住宅 A 建設時の CO₂ 排出量を 9.9%削減することが可能となることが分かった。さらに、部位と資材重量の見直しにより、住宅 A 建設時の CO₂ 排出量を 40.3%削減することが可能となることが分かった。これらの結果は、施主の個別事情と蓄積資材重量の関係を今後検討するための基礎資料になると考える。

本研究の今後の課題を述べる。住宅建設時の CO₂ 排出量削減対策として本論文で検討した部位と使用資材の見直しの他に、端材の削減について検討する必要がある。さらに、今後は住宅 A 以外の一般的な住宅についても用途の見直しを行い、用途の無い部位を取り除く事による CO₂ 排出量削減効果の定量化を行いたい。

謝辞

住宅 A の実測調査は株式会社コロナより一部助成を受けて実施し、住宅 B と住宅 D の実測調査は平成 18～19 年度(社)住宅生産団体連合会住宅関連環境行動助成事業の助成を受けて実施し、住宅 C の実測調査は平成 19 年度(財)長野県科学振興会研究助成金より一部助成を受けて実施した。調査結果の取りまとめについては平成 21 年度科学研究費補助金(若手研究(B))「在来工法による高断熱・高気密住宅の建設から運用までの CO₂ 排出量削減に関する研究」(課題番号：21760448、研究代表者：高村秀紀)の一部を使用して実施した。また、実測調査を行うにあたり、株式会社ナガノ建築サービス及び北信商建株式会社をはじめ関係者各位に多大なる協力を得た。ここに記して感謝の意を表す。

注

- 注1) 住宅建設に要する建築資材でかつ住宅に蓄積される建築資材を本論文では蓄積資材と定義する。端材及び梱包材は資材により廃棄される場合とリサイクルされる場合がある為、本論文では端材及び梱包材を副産物と定義する。
- 注2) 本論文で羽柄材とは間柱や筋交、垂木などのプレカット以外の現場で加工される製材と定義する。
- 注3) CO₂ 排出量の算出式を以下に示す。

$$Y=\Sigma(W_i\times I_i)$$

Y：資材の CO₂ 排出量(kg-CO₂)

W_i：資材 i の重量(kg)

I_i：資材 i の CO₂ 排出原単位(kg-CO₂/kg)

- 注4) 主な資材の CO₂ 排出原単位は下表の通りである。なお、CO₂ 排出原単位の名称が合致しない主な資材は表中の網掛けした資材である。

工事区分	資材	原単位名称	CO ₂ 排出原単位 [kg-CO ₂]
基礎	碎石	碎石	0.011
	コンクリート	生コンクリート	0.205
	鉄筋	普通鋼小棒	0.941
	型枠	合板	1.272
	剥離材	その他石油製品	0.185
躯体	製材	製材	0.319
	集成材、合板	合板	1.272
	釘	金属線製品	3.322
	構造用金物	その他の金属製品	3.284
屋根	ガルバリウム鋼板	めっき鋼材	1.115
	瓦	その他の建設用土石製品	1.399
外壁	サイディング	セメント製品	0.342
	珪砂	砂利・碎石	0.012
内装	複合フローリング	合板	1.272
	クロス	プラスチックフィルム・シート	2.455
	石膏ボード	その他の建設用土石製品	1.399
	プラスチック金属複合サッシ	アルミ延製品	9.252
開口部	プラスチックサッシ	塩化ビニル樹脂	1.728
	ガラスウール	ガラス繊維・同製品	2.272
断熱	押出法ポリスチレンフォーム 保温板	プラスチック発泡製品	3.654
	自然冷媒ヒートポンプ式給湯器、エアコンなど	民生用電気機器	6.531
設備	塩ビ管	プラスチック板・管・棒	2.346
	電気配線	電線・ケーブル	3.322

- 注5) 檜の無垢板の CO₂ 排出原単位は製材の CO₂ 排出原単位を使用した。

参考文献

- 1) 村上ほか：全国の住宅 80 戸を対象としたエネルギー消費量の長期詳細調査対象住宅の属性と用途別エネルギー消費量、日本建築学会環境系論文集、第 603 号、pp.93～100、2006.5
- 2) 赤林ほか：全国の住宅 80 戸を対象とした各種家電機器のエネルギー消費量に関する調査研究、日本建築学会環境系論文集、第 619 号、pp.61～67、2007.9
- 3) 湯浅ほか：低負荷型ライフスタイルによる住宅のエネルギー消費量削減の可能性、日本建築学会環境系論文集、第 642 号、pp.1019～1024、2009.8
- 4) 日本建築学会：建物の LCA 指針～温暖化・資源消費・廃棄物対策のための評価ツール、日本建築学会、2006.11
- 5) 横山計三ほか：資源消費原単位を適用した低資源消費型建物の評価 産業連関表による建築物の物量評価、日本建築学会環境系論文集、第 579 号、pp. 81～88、2004.5
- 6) 野城ほか：地球環境・資源問題に考慮した溝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、pp.77～82、1993
- 7) 野城ほか：資源有効利用を考慮した住宅溝法システムに関する研究、日本建築学会 第 10 回建築生産と管理技術シンポジウム、pp.267～272、1994
- 8) 岡ほか：産業連関表による建築物の評価 その 3 住宅建設によるエネルギー消費量、二酸化炭素排出量、日本建築学会計画系論文集、第 463 号、

- pp.75～82、1994.9
- 9) 近田ほか：実態調査に基づく戸建て住宅の構成部材の環境負荷簡易推計、日本建築学会計画系論文集、第 549 号、pp.89～93、2001.11
- 10) 高村秀紀、浅野良晴、岩崎圭祐：高床式の高断熱・高気密化住宅建設時における蓄積資材重量及び副産物重量の実測調査 在来工法による木造戸建て住宅の環境負荷予測に関する研究 その 1、日本建築学会環境系論文集、第 619 号、pp. 47～52、2007.9
- 11) 松岡澄生、浅野良晴、高村秀紀：設計段階と施工段階における資材重量の比較 在来工法による木造戸建て住宅の環境負荷予測に関する研究 その 2、日本建築学会環境系論文集、第 647 号、pp. 105～112、2010.1
- 12) Chang-U CHAE et al.: COMPARATIVE STUDY ON THE AMOUNT OF CO₂ EMISSION OF BUILDING MATEREALS BETWEEN REINFORCED CONCRETE AND STEEL STRYCTURE BUILDINGS USING THE INPUT-OUTPUT ANALYSIS, The World Sustainable Building Conference, pp.1880～1883, 2005.9
- 13) 井上ほか：戸建て住宅の構成部材に係る CO₂ 排出量の簡易推計法に関する研究、日本建築学会環境系論文集、第 581 号、pp.103～108、2004.7
- 14) 小林ほか：戸建て住宅における設備のライフサイクル CO₂ 評価に関する研究、日本建築学会計画系論文集、第 610 号、pp.83～89、2006.12
- 15) 横山計三：2000 年産業連関表による資源消費原単位の算出 産業連関分析による建築物の物量評価 (その 2)、日本建築学会環境系論文集、第 619 号、pp. 53～60、2007.9
- 16) 横山計三ほか：建築物の資源消費量の簡易計算法の提案、日本建築学会技術報告集、第 18 号、pp.207～211、2003.12
- 17) 社団法人資源協会：家庭生活のライフサイクルエネルギー、株式会社あんぼるめ、1994
- 18) 建築研究所：木造建築物の再資源化・資源循環化技術の開発、建築研究所報告、No. 140、2004.3
- 19) 木材活用辞典編集委員会：木材活用辞典、株式会社産業調査会 辞典出版センター、1994
- 20) 日本規格協会：JIS ハンドブック 2006・8・建築 I・材料、日本規格協会、2006
- 21) 山内久三郎：木造住宅の積算と見積り、理工学社、2008
- 22) 株式会社建築資料研究社：積算ポケット手帳 建築材料・施工全般 2008 前期編、2007
- 23) 奥田幸司ほか：新版 図解 木造建築の積算、株式会社東洋書店、2008
- 24) 阿部正行：入門/木造住宅の積算実務-コストの考え方と計算手順、株式会社彰国社、2005
- 25) はまだかんじ：改訂 4 版 木造住宅積算入門、株式会社大成出版社、2003
- 26) 独立行政法人住宅金融公庫：木造住宅工事仕様書 平成 20 年改訂、財団法人住宅金融公庫普及協会、2008

(2010 年 1 月 21 日原稿受理、2010 年 7 月 29 日採用決定)