

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 14 日現在

機関番号： 21401
 研究種目： 基盤研究（C）
 研究期間： 2010～2012
 課題番号： 22560566
 研究課題名（和文） 低炭素社会に向けた地域材活用による長期耐用型木造住宅の開発及びライフサイクル評価
 研究課題名（英文） Development and Life Cycle Assessment of a Long Durability Wooden House Using Regional Wood Materials for a Low-carbon Society
 研究代表者 板垣 直行（ITAGAKI NAOYUKI）
 秋田県立大学・システム科学技術学部・准教授
 研究者番号：00271891

研究成果の概要（和文）：

本研究では低炭素社会の実現に向け、長期耐用化、地域材活用および CO₂ 排出量削減をのための技術を整理し、それらを有効に活用した長期耐用型木造住宅のプロトタイプを検討した。さらに検討された住宅について、地域材生産に伴う環境負荷を踏まえインベントリ分析を行い、長寿命化による効果を明らかにすると共に、秋田県の森林資源循環サイクルに調和しつつ CO₂ 排出削減効果を効果的に発揮する住宅の生産システムを検討した。

研究成果の概要（英文）：

The technologies for long durability, regional wood materials using, and CO₂ emissions reduction were arranged. Those technologies were utilized effectively and the prototype of the long durability wooden house was examined. Inventory analysis which took into consideration the environmental load with producing regional wood materials about the house was conducted, and the effect by increase a service life was clarified. The production system of the long durability wooden house which reduces CO₂ emissions was examined harmonizing with forest-resources circulation of Akita Prefecture.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2011 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2012 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野： 工学

科研費の分科・細目： 建築学、建築構造・材料

キーワード： 木造住宅、長期耐用、環境負荷、二酸化炭素削減、スケルトン・インフィル、森林資源、省エネルギー、保全技術

1. 研究開始当初の背景

近年、20 世紀の大量消費型の社会を省み、循環型社会の構築が世界レベルで課題とされている。このような時勢により、建築分野では省エネ、省資源化を背景とした建築の長期耐用化技術が注目されている。

さらに木造住宅の場合、使用されている木材が炭素を固定していると評価すれば、住宅の生産時に排出される炭素量を上回り、CO₂ 削減に寄与できる可能性がある。これを実現するためには、木造住宅の生産時におけるエネルギー消費を削減する一方、木材使用量の

増大を図る必要がある。また木材の炭素固定効果を考えるのであれば、住宅のみならず木材を供給する森林の更新周期なども含めて考えていく必要がある。国内の森林においては戦後大量に植樹されたスギ人工林が主伐期を迎え、豊富な資源として存在しているものの、生産コストが輸入材の価格と競合出来ず、活用されずにいる状況がある。森林はCO₂を吸収して固定する役割を担っているが、その効果は成長期を過ぎた樹木では必ずしも高くない。従って、主伐期を迎えた樹木を伐採し、木材製品の形で炭素をストックしつつ、新たに植林して森林を更新した方が、効果的に炭素蓄積が可能になると考えられる。すなわち、森林の資源循環サイクルに調和した住宅の生産システムを構築することが重要である。

また建築由来のCO₂排出量の多くは、運用時におけるものであり、改善点も明らかになりつつあるが、効率的な削減を行うためには、運用途中における適切な設備の更新、建築の改善・改修が必要である。このための、リノベーション技術を有効に取り入れ、さらにはそれらのライフサイクルを効率的にマネジメントすることが必要と考えられる。

2. 研究の目的

前述の背景を踏まえ、本研究では低炭素社会の実現に向け、地域材およびCO₂排出量削減技術を有効に活用した長期耐用型木造住宅のプロトタイプを開発し、さらには秋田県の森林資源循環サイクルに調和しつつCO₂排出削減効果を効果的に発揮する住宅の生産システムを構築することを目的とする。

まず、住宅の長期耐用化、生産時および運用時の低環境負荷化、地域木材の活用のための技術を整理し、それらを合理的に取り入れるための構法、仕様をまとめる。これに基づいた長期耐用型木造住宅のプロトタイプを開発し、建設段階までのインベントリを明らかにする。さらに、秋田県におけるスギを中心とした森林の生育状況を分析しつつ資源循環サイクルのモデルを設定し、その住宅に調和した住宅のライフサイクルを検討する。

最終的にこれらを総合的にライフサイクル評価し、CO₂排出削減効果を効果的に発揮すると共に、森林および環境の保全、地域資源の有効かつ持続的活用を実現するような住宅の生産システムを構築すること目標とする。

3. 研究の方法

住宅の長期耐用化、生産時および運用時の低環境負荷化、地域木材の活用のための技術に関しては、平成20年度より国土交通省が実施している長期優良住宅先導的モデル事業における提案課題をレビューし、長期耐用化のために求められる技術の傾向等につ

いて整理した。それらの技術等を合理的に取り入れるための構法として、既往の研究により木ダボ接着接合を用いた木質ラーメン構法によるスケルトン・インフィル(SI)型住宅をベースにして、長期耐用型木造住宅プロトタイプ仕様を検討した。一方、この住宅架構に用いられる秋田産スギ材の製材、集成加工工程における消費エネルギー、CO₂排出量を製造工場の実測調査を行って算定し、長期耐用型木造住宅のプロトタイプ住宅の、建設段階までのインベントリを明らかにした。さらに、秋田県におけるスギを中心とした森林の生育状況を分析しつつ資源量の将来予測を行い、森林資源循環に調和した住宅のライフサイクルを検討した。

4. 研究成果

(1) 住宅の長期耐用化技術および地域木材活用・低環境負荷化技術の検討

平成20年度より国土交通省が実施している長期優良住宅先導的モデル事業における提案課題をレビューし、長期耐用化のために求められる技術の傾向等について整理した。先導事業の過去6回より、提案内容の長期耐用化技術について抽出し、ハード技術は長期優良住宅認定基準項目(a~g)、ソフト技術は図2に示す9つの項目ごとに、該当する項目にポイントをつけた。ハード技術では、特に先導的な技術を3ポイントとして重みをつけた。これらを集計した結果を図1、2に示す。

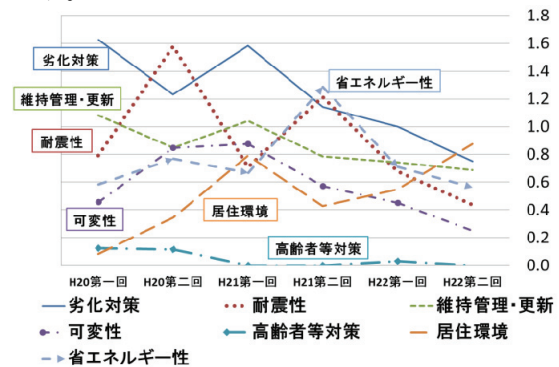


図1 ハード技術ポイント比率の推移

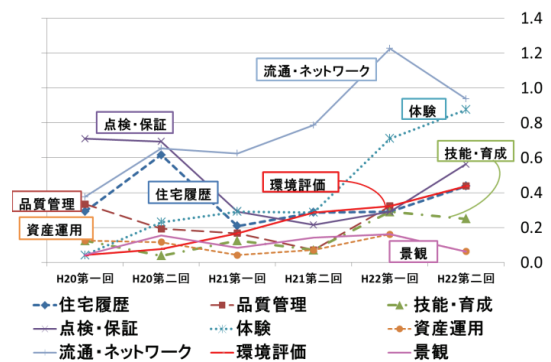


図2 ソフト技術ポイント比率の推多

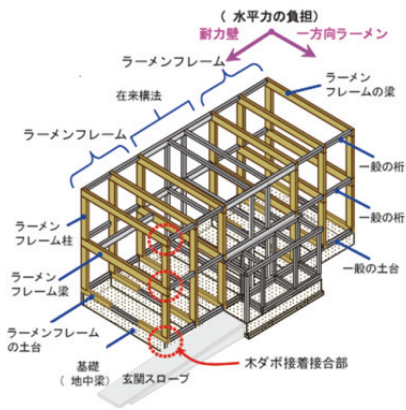


図 4 SI 型住宅の構造架構概要

(3) 地域木材およびそれを用いた集成材製造過程における環境負荷調査

県産秋田スギ材を中心に製材を行っている同等規模の2つの製材所を対象に、生産システムについて調査を行った。製材の流れはほぼ類似していたが、乾燥方法に違いが見られ、M 製材所では高温と中温の蒸気式乾燥機が使用されており、K 製材所では中温蒸気式乾燥機と低温除湿式乾燥機が使用されていた。

各製材所が記録・管理している電気料金請求内訳書、乾燥機への給油記録を用いて、加工・乾燥工程におけるエネルギー消費量を集計した。さらに加工機器の実測調査およびカタログに記されているモータの容量から各工程での消費エネルギーを算出した。結果を表 2 および図 5 に示す。両社の CO₂ 排出量は同程度であったが、いずれも乾燥工程がその半分以上を占めており、乾燥工程の省エネルギー化が重要であると考えられた。また、加工工程では集塵機の消費エネルギーが最も多く、効率的な集塵システムの検討が必要と考えられた。

表 2 木材製材に伴う CO₂ 排出量と CO₂ 固定量

	単位材積あたり CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂ /m ³]	単位材積あたり CO ₂ 固定量 [kg-CO ₂ /m ³]
M 製材所	56.4	733
K 製材所	56.0	

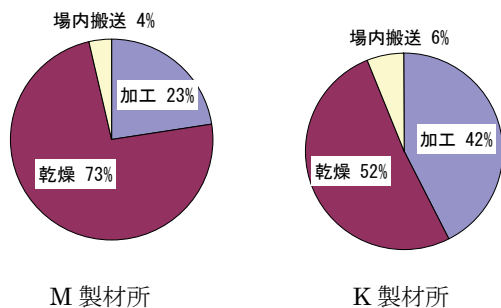


図 5 CO₂ 排出量の割合

次に、生産形態の異なる秋田県内の集成材メーカー2社について調査を行った。A社は、主に大断面集成材を生産しながら注文に応じて中・小断面集成材まで幅広く受注生産しており、B社は住宅用の中・小断面集成材に限定して生産している。また、A社では基本的に乾燥済みのラミナを仕入れているが、B社は未乾燥の状態ですべて自社で人工乾燥から行っている。ただし、木屑吹きボイラーの活用により、エネルギーを環境負荷の少ないものとしている。

両社の平成 22 年度における電気料金請求内訳書、各燃料の請求書を用いて、電気、各燃料の消費量を集計し、集計結果より CO₂ 排出量を算出した。また、消費電力が大きい機器を抽出し消費電力を実測した。算出結果を表 3、図 6、に示す。B社においては、実測調査した機器の中では中温タイプ乾燥機の電力消費量が最も大きく、総排出量の半分以上を占めている。乾燥機の熱源は木屑炊きボイラーにより供給されるため、消費されている電力はほぼ乾燥機のファンの稼働によるものである。にも関わらず排出量が多いことより、乾燥工程が環境負荷における重要なポイントであることが伺える。B社における CO₂ 排出量原単位の合計から乾燥機による CO₂ 排出量原単位を差し引いて、A社とB社を同じ条件にして比較すると、A社では 67.9 kg-CO₂/m³、B社では 49.7 kg-CO₂/m³ となり、A社のほうが、B社より 18.2 kg-CO₂/m³ も多く CO₂ を排出していることが明らかとなった。これは、B社が住宅用部材の中・小断面集成材に限定して製造しているのに対し、A社は注文に応じて様々な部材寸法に対応しているため、製造作業の所々で余計に時間がかかり、生産効率が低下することにより CO₂ 排出量原単位が高くなっていると考えられる。これより、生産している部材の種類等によって CO₂ 排出量原単位に差が生じることが明らかとなった。

表 3 機器毎の CO₂ 排出量、CO₂ 排出量原単位

	機器名	CO ₂ 排出量 [kg-CO ₂]	CO ₂ 排出量原単位 [kg-CO ₂ /m ³]
A 社	グレコンフィンガー	1,176	1.6
	モルダー	720	0.7
	四面プレーナー	995	0.9
	集塵機	2,978	5.4
	合計	5,869	8.7
B 社	5 軸 4 面モルダー	1,352	1.5
	フィンガーシステム	830	1.6
	5 軸モルダー	1,868	2.4
	回転プレス(2 台分)	376	0.5
	4 面かんな盤	1,308	3.4
	集塵機	1,089	2.1
	中温タイプ木材乾燥機	3,356	36.8
合計	10,179	48.3	

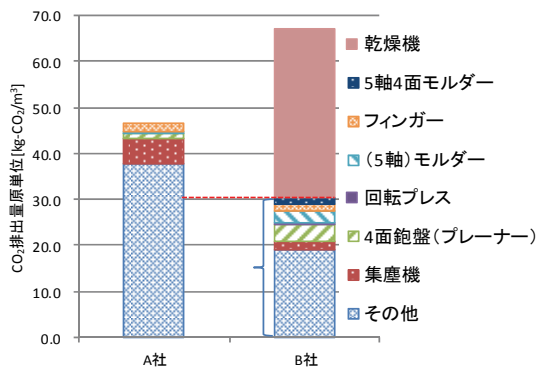


図6 機器毎のCO₂排出量原単位

以上の秋田県内の製材所、集成材メーカーを対象とした調査事例に基づき大断面集成材と中・小断面集成材を対象としてCO₂排出量のインベントリ分析を行った。評価範囲は立木の伐採から集成工程までで、以後の集成材の流通、使用、廃棄については評価に含めていない。樹皮、木屑、端材、灰、パテ容器などの副産物や廃棄物についてもデータが明確でないものもあり、今回の評価には含めていない。

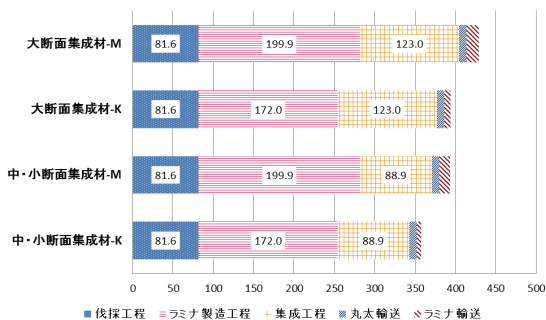


図7 集成材製造1m³あたりのCO₂排出量[kg-CO₂]

大断面集成材と中・小断面集成材の工程別環境負荷を図7に示す。大断面集成材は中・小断面集成材に比べやや環境負荷が高くなるのが分かった。また、集成材における環境負荷はラミナ製造、特に乾燥工程が大きく影響することが明らかとなった。ラミナ製造工程ではM製材所は乾燥のために主に灯油を使い、K製材所は電力を使用している。乾燥燃料を灯油や重油から木質副産物に転換することで、CO₂排出量の大幅な低減が図れると考えられる。輸送は距離に応じて環境負荷が増加していた。

(4) 森林の生育状況および資源循環の分析

秋田のスギを中心とした森林資源について、林業統計データやヒアリングにより調査し、林令と蓄積量の関係を把握した。さらにそれらに現在の生産量とそれに対応した植樹量をベースに今後の生産状況などを想定し、将来的な森林資源蓄積量についてシミュレ

トした。

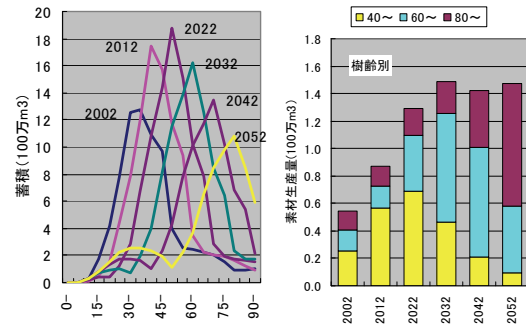


図8 秋田スギ蓄積量(左)と生産量(右)の将来予測

その結果、図8に示すように現在は40年生前後の材が大量に蓄積しているものの、伐採量・植樹量が非常に少ないことにより、そのピークが徐々に高樹齢に移動すると共に減少して、将来的にもかなり偏った分布になることが想定される。このため、伐採量と共に植樹量を増大させ、安定した森林資源分布を構成していくことが必要と考えられた。

(5) 地域材活用による長期耐用型木造住宅のライフサイクル評価

製材および集成材製造過程における環境負荷調査結果および既往の木造住宅施工における事例調査の結果を活用し、長期耐用型木造住宅のプロトタイプにおける消費エネルギー、CO₂排出量等について、インベントリ分析を行った。また比較対象として、同一住宅について在来工法で建設した場合を想定した建物についてもインベントリ分析を行って比較した。

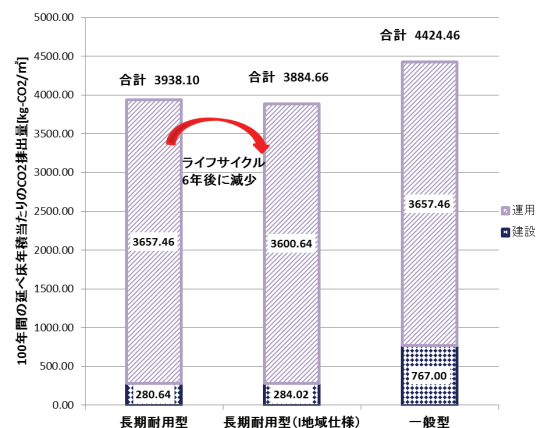


図9 100年間の延べ床面積あたりCO₂排出量

分析の結果、ライフサイクルを100年とした時のCO₂排出量を図9に示す。現在の日本の平均的住宅の寿命から在来軸組構法では30年で建て替えを行うとした。60年後のCO₂排出量は一般型に比べ長期耐用型は

230.69kg-CO₂/m²、100年後は486.36kg-CO₂/m²削減出来る結果となった。また、断熱仕様をI地域仕様に変更する場合、インシヤル部分での環境負荷が増加するが、運用エネルギーの削減により、CO₂排出量は6年でI地域仕様の方が低くなることが明らかとなった。

(6) 森林の資源循環サイクルに調和した住宅生産システム

前述した秋田スギを中心とした森林の生育状況および資源循環の分析結果に基づき、資源を持続的に活用しつつ炭素吸収を効率的に行うための、植樹、育成、伐採（生産）のサイクルを検討した。現状での県産スギ材の消費量は成長量の1/6程度であり、その蓄積量を保持しつつ、効果的に森林の資源を循環させる住宅生産を検討した。さらに、住宅の消費エネルギー、CO₂排出量、廃棄物を削減するための長期耐用型住宅のライフサイクルおよび生産計画を検討した。これらを効果的に実現するためには、国産材の利用増大を図ると共に木質廃材、未利用木質資源などのバイオマスエネルギー利用などを効率的に図っていくことが重要と考えられた。また、戸建て住宅のみならず、他構造により主に供給されている集合住宅などの木造化を図る必要もあると考えられた。

今後、これらを想定した更なる分析を検討していく。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

- ① 石川敬、板垣直行、青木健介、布川めぐみ、シリコン系接着剤を用いた木ダボ接着接合部の性能設計方法の検討、日本建築学会東北支部研究報告論文集 構造系、査読無、第76号、2013、pp.31-34
- ② 板垣直行、宇梶真悠、長谷川兼一、長期耐用型木造住宅をモデルとしたライフサイクル二酸化炭素排出量の検討、日本建築学会東北支部研究報告論文集 構造系、査読無、第76号、2013、pp.127-130
- ③ 板垣直行、菅野このみ、木造建築 LCA のための集成材製造工程エネルギー消費に関する事例調査、日本建築学会東北支部研究報告論文集 構造系、査読無、第75号、2012、pp.5-8

[学会発表] (計2件)

- ① 板垣直行、長期耐用型木造住宅をモデルとしたライフサイクル二酸化炭素排出量の検討、日本建築学会東北支部研究発表会、材料・施工、2013年6月22日、岩手県

公会堂

- ② 板垣直行、木造建築 LCA のための集成材製造工程エネルギー消費に関する事例調査、日本建築学会東北支部研究発表会、材料・施工、2012年6月16日、八戸工業大学

[図書] (計0件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計0件)
- 取得状況 (計0件)

[その他]

関連ホームページ

<http://www.akita-pu.ac.jp/stic/souran/study/detail.php?id=220>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

板垣 直行 (ITAGAKI NAOYUKI)
秋田県立大学・システム科学技術学部・准教授
研究者番号：00 271891

(2) 研究分担者

飯島 泰男 (IIJIMA YASUO)
秋田県立大学・木材高度加工研究所・教授
研究者番号：10279507
長谷川 兼一 (HASEGAWA KENICHI)
秋田県立大学・システム科学技術学部・准教授
研究者番号：50293494
川鍋 亜衣子 (KAWANABE AIKO)
秋田県立大学・木材高度加工研究所・准教授
研究者番号：40404850