

### 3. 木材利用にかかる省エネ省CO<sub>2</sub>に関する調査及び分析結果

#### 3.1 建築・木製品分野における木材利用による省エネ省CO<sub>2</sub>効果

##### 3.1.1 木材の製造から廃棄に至るまでのCO<sub>2</sub>排出量に関する調査

木材のライフサイクルを通じた評価をするため、主要製品の木材のサプライチェーン（育林、路網整備、伐採、搬出、製材、廃棄・リサイクル（チップ化））などに関するインベントリデータを収集し、基礎データを作成した。本データは将来他の製品・工法等の評価においても活用可能な基礎データとし、CO<sub>2</sub>排出量の定量的な検討を推進する基盤に資するものである。

丸太については、モデルの前提となるパラメータの精査のため森林組合等へのヒアリング等により数値の妥当性向上を図った。また、成果を第11回日本LCA学会研究発表会で発表した。繊維板については日本繊維板工業会等から製品データおよびCO<sub>2</sub>排出量関連データを提供頂き、精査した上でデータベース化を行った。

#### (1) 現地調査による丸太生産のCO<sub>2</sub>排出量に関するデータベース構築

##### 1) 概要

木材サプライチェーンを通じた省エネ省CO<sub>2</sub>調査用基礎データを収集する。木材のライフサイクルを通じた評価をするため、育林、路網整備、伐採、搬出、製材、廃棄・リサイクル（チップ化）など、木材のサプライチェーンに関するプロセスのデータをもとに、主要製品の基礎データを作成した。本データは将来建築用途や土木用途での木材利用時における評価において活用可能な基礎データとし、CO<sub>2</sub>排出量の定量的な検討を推進する基盤に資することを目的とした。対象となる地理的範囲は日本国内とし、外国産の木材は対象外とした。すなわち、国産材のCO<sub>2</sub>排出量を調査した。ただし、製材段階、廃棄・リサイクル段階については外国産の木材と区別して検討していないため、データの適用が可能である。

調査にあたり、主要な段階を下表に示すように 1)育林・伐採・搬出、2)製材、3)廃棄・リサイクルに大別した。

表 3-1 素材生産等の主要段階

段階	概要	主要プロセス(例)
1)育林・伐採・搬出	・育林:森林を育て、木材生産等を行う	育苗、地ごしらえ、植え付け、下刈り、つる切り、除伐、枝打ち、間伐。 伐採:間伐、主伐

段階	概要	主要プロセス(例)
	 <p>・伐採・搬出: 立木を伐採し、搬出する</p> 	
2)製材	<p>原木を建築素材等に加工する。</p> 	皮むき、製材、乾燥、プレカット
3)廃棄・リサイクル	<p>使用済み品を再資源化もしくは最終処分する。</p> 	選別、チップ化、燃料化(発電・熱供給)、原料化(パーティクルボード製造等)

\* 写真は全て平成 24 年度森林・林業白書より抜粋

## 2) 育林・伐採・搬出段階

### a. 既往研究の分析

国産丸太に関する既往研究調査事例を下表にまとめた。

統計資料を用いたトップダウン型の分析では、森林施業に関わる各種燃料消費の影響（例：林内移動、作業路開設）が全て考慮される。しかし、単年度の燃料消費量と生産量で算定しているため、特に育林に相当する工程はそれがバランスしておらず、数値の妥当性に注意する必要がある。

一方、ボトムアップ型の研究事例は、各プロセスのデータを現場から一次データとして入手しているものの、サンプリング数が少ない。そのため施業方法の違いによるバラツキが出やすい。また、研究事例によって評価範囲が異なるため、事例間での平均化ができない。例えば大和田ら(2012)の研究では通勤の影響を含めており、その影響が大きいことが報告されているが、山内ら(2009)はそれを含めていない。

各事例とも単位材積あたりおおよそ 10～30kg-CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup> 程度の温室効果ガス (GHG) 排出量となっているが、その主要な変動要因が不明瞭となっている。これらを特定し、今後簡易な方法で継続的にデータ更新できる仕組みを構築することが望まれる。

表 3-2 既往研究・調査における国産丸太の CO<sub>2</sub> 排出量

区分	名称	GHG(CO <sub>2</sub> e)排出量	出典	備考
トップダウン	スギ	11.8 kg/m <sup>3</sup>	産業技術総合研究所/産業環境管理協会: IDEA v.1.1(2013)	林業経営統計を利用。機械製造は含まず。
	ヒノキ	13.0 kg/m <sup>3</sup>		
	アカマツ・クロマツ	32.5 kg/m <sup>3</sup>		
	カラマツ	33.0 kg/m <sup>3</sup>		
	丸太	9.9 kg/m <sup>3</sup>		
	育林	0.41t/百万円		
ボトムアップ	森林施業	28.9 kg/m <sup>3</sup>	建築学会: 建築用木材 DB ver.17(2013)	国内大手事業者からのヒアリング
	立木	20.8 kg/m <sup>3</sup>	外岡, 高口ら「国産天然素材木造住宅の LCA」エネルギー資源学会研究発表会講演論文集	宮城県の事例。苗木購入から主伐までを含む。
	丸太 (スギ)	11.1kg/m <sup>3</sup>	一重、長谷川ら「国産丸太のライフサイクルアセスメント事例」木材学会誌 59(5), 269-277 (2013)	・地拵えから間伐、主伐までをプロセス別に積み上げで調査 ・育苗、林内移動、機械製造、機械製造は含まない
	丸太 (カラマツ)	6.1～15.2kg/m <sup>3</sup>	古俣、由田ら「カラマツ丸太生産における CO <sub>2</sub> 排出のインベントリ分析」日本 LCA 学	・育苗、作業路開設、林内移動、機械製造含めず。

区分	名称	GHG(CO <sub>2</sub> e)排出量	出典	備考
			会誌 5(1), 131-137(2009)	・間伐材としての丸太も同じ生産物として評価
	丸太 (北信スギ)	17.5kg/m <sup>3</sup>	山内、浅野ら「長野県北部におけるスギと長野県東部におけるカラマツのCO <sub>2</sub> 排出原単位及び木造住宅におけるCO <sub>2</sub> 排出量の算出」日本建築学会環境系論文集 74(645), 1261-1267(2009)	・長野県域での生産・利用 ・高性能林業機械の燃料消費量を聞き取り調査
	丸太 (群馬 2 箇所, 山梨, 京都)	15.8～25.9kg/m <sup>3</sup>	大和田、長崎ら「国産丸太のLCAによる環境影響評価」第7回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集 90-91(2012)	・通勤、作業路開設を含む

・海外における丸太に関する既往研究調査事例を下表にまとめた。

海外において林業全体や丸太生産時の CO<sub>2</sub> 排出量評価は多くされてきた。Klein et al. (2015) がこれらをレビューした論文を発表しており、評価事例によって異なるシステム境界や配分基準等について整理している。本論文では、評価範囲とすべきシステム境界として、直接的なプロセス（育苗から伐採・搬出）だけでなく、間接的なプロセス（作業路開設や機械製造等）の影響も評価範囲に含めるべきであると提案している。また、主伐材と間伐材との環境負荷の配分については、材積基準で行うことを提案している。そのため、本林野庁事業における調査においても、これら推奨手法に基づき実施した。

表 3-3 既往研究・調査における海外丸太の CO<sub>2</sub> 排出量等評価事例

番号	出典	概要
1	Mirabella N, Castellani V, Sala S (2014) Forestry operations in the alpine context. Life cycle assessment to support the integrated assessment of forest wood short supply chain. Int J Life Cycle Assess 19:1524–1535.	イタリアの丸太生産の LCA 事例。特定サイトにおける作業システムごとの環境負荷を分析。当該サイトでは重機を多用する作業システムが最も GHG 排出量が多かった。
2	Timmermann V, Dibdiakova J (2014) Greenhouse gas emissions from forestry in East Norway. Int J Life Cycle Assess 19:1593–1606.	ノルウェー東部における丸太生産の GHG 排出量を評価した事例。17.9kg/m <sup>3</sup> としている。輸送の影響が約半分を占め、次いで主伐、集材の影響が大きいとしている。
3	Han H-S, Oneil E, Bergman RD, et al (2015) Cradle-to-gate life cycle impacts of redwood forest resource harvesting in northern California. J Clean Prod 99:217–229.	カリフォルニア北部におけるセコイヤ (redwood) の丸太生産時の LCA 事例。製材用丸太あたり 14.2～17.8kg/m <sup>3</sup> とした。(ヘリコプター搬出を除く)。
4	Dias, A.C., Arroja, L., 2012. Environmental impacts of eucalypt and	ユーカリ (eucalypt) とフランスカイガンショ

番号	出典	概要
	maritime pine wood production in Portugal. J. Clean. Prod. 37, 368–376.	ウ (maritime pine) の LCA 事例。集約的・近代的な施業方法の場合、それぞれ 18.5kg/m <sup>3</sup> 、12.2kg/m <sup>3</sup> と報告。
5	Engel, a. M., Wegener, J., Lange, M., 2012. Greenhouse gas emissions of two mechanised wood harvesting methods in comparison with the use of draft horses for logging. Eur. J. For. Res. 131, 1139–1149.	重機を多用した作業システムとそうでない作業システムとで比較した事例。重機を多用すると CO <sub>2</sub> 排出量が増加すると報告。
6	Klein D, Wolf C, Schulz C, Weber-Blaschke G (2015) 20 years of life cycle assessment (LCA) in the forestry sector: state of the art and a methodical proposal for the LCA of forest production. Int J Life Cycle Assess 20:556–575.	丸太の LCA に関するレビュー論文。平均値として 14.3 kg/m <sup>3</sup> (±10.7 SD)を示しているが、間接影響 (作業路開設など) を含まない文献もあるため、解釈には注意が必要。

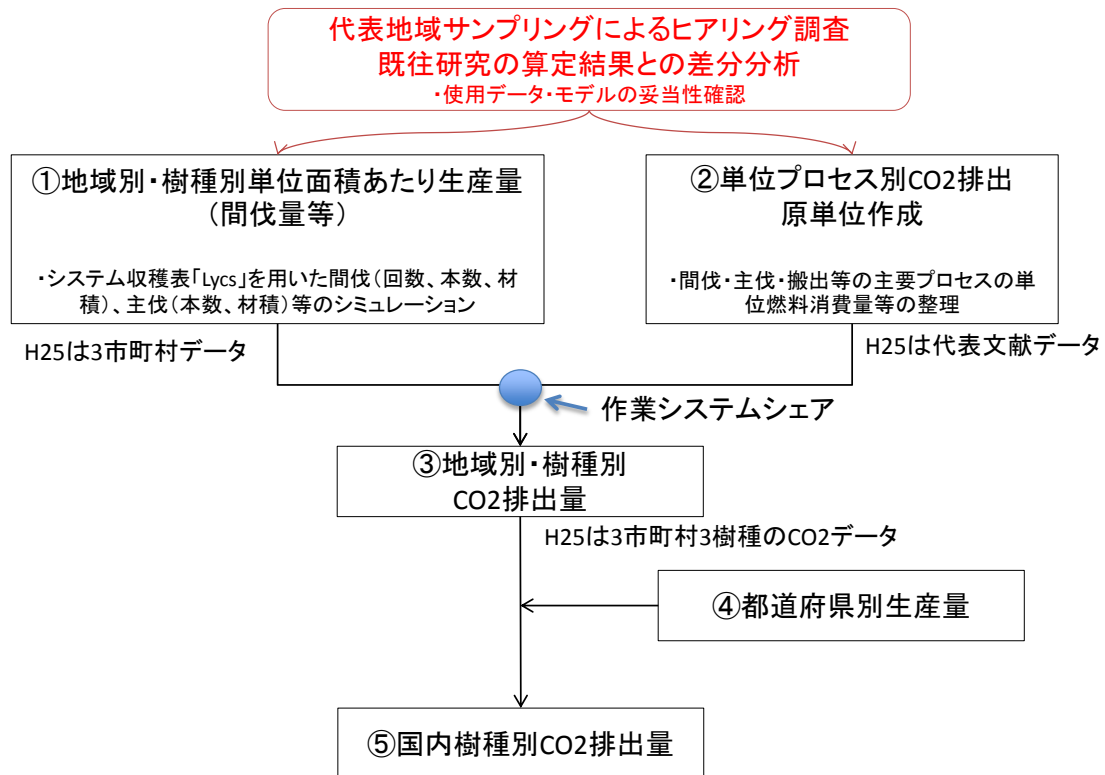
#### b. 平成 25 年度調査結果の課題と活用方針

育林・伐採・搬出段階のモデルを構築し、丸太搬出までの GHG 排出量を試算した。しかし、利用間伐時および主伐時における GHG 排出量は既存文献値を用いた。課題として、まず当該文献値はその研究の対象地域の状況の一部を示すものであり日本全体の代表値として扱えるものではないことが挙げられている。さらに、各事例固有の条件と見られるものとして、機械 (チェーンソーやハーベスタに比べプロセッサのエネルギー効率の低さ (大和田ら, 2012))、バイオマス熱利用における集材方式 (全木、全幹、単幹) の違いといった要素が課題として示されたところである。

以上のことから、今年度の調査分析においては、代表的施業体系のモデル化について専門家の知見を反映しつつ、伐採・搬出ケースを設定し、現況を踏まえての機械導入 (高性能林業機械導入等) の割合・種類・集材方式に応じた GHG 排出量設定を実施することとした。

#### c. 平成 26 年度実施内容

上記のような前年度の状況を踏まえ、今年度調査においては代表的施業体系をモデル化することとし、代表的樹種 (スギ、ヒノキ、カラマツ、トドマツ) を対象に、全国の地方自治体が作成した森林整備計画書をもとに設定その活動量把握・分析を実施した。地位や仕立て方法によって体積あたりの GHG 排出量が大きく異なる (古俣ら, 2009) ことが知られていることから分析においては個別の背景情報を考慮して情報整理等を行った。



#### d. 平成 27 年度実施内容

本年度は我が国の代表樹種（スギ、ヒノキ、カラマツ、トドマツ）、地域を日本全国とし、データ作成を行う。丸太は材積あたりで取引されることが一般であるため、丸太材積  $1\text{m}^3$  あたりの  $\text{CO}_2$  排出量算定をする。以下にインベントリ分析手順を示した。面積あたりの収穫量や、施業方法によって環境負荷は大きく異なるため、地域別にデータ収集した。活動量データとして、日本の 47 ある全都道府県における単位面積あたりの収穫量やそれに要する初期立木本数、間伐量、路網整備距離などを樹種別にモデル化した。ただし、年間  $1\text{千}\text{m}^3$  未満生産量しかない都道府県は除外した。そのため、スギは 46 都道府県、ヒノキは 40 都道府県、カラマツは 18 都道府県、トドマツは北海道が評価対象になった。また、各活動に対する  $\text{CO}_2$  排出量データを収集した。これらを統合することで、各都道府県別の環境負荷データを作成し、最後に生産量で加重平均した。以下に手順およびデータ源の詳細を記す。

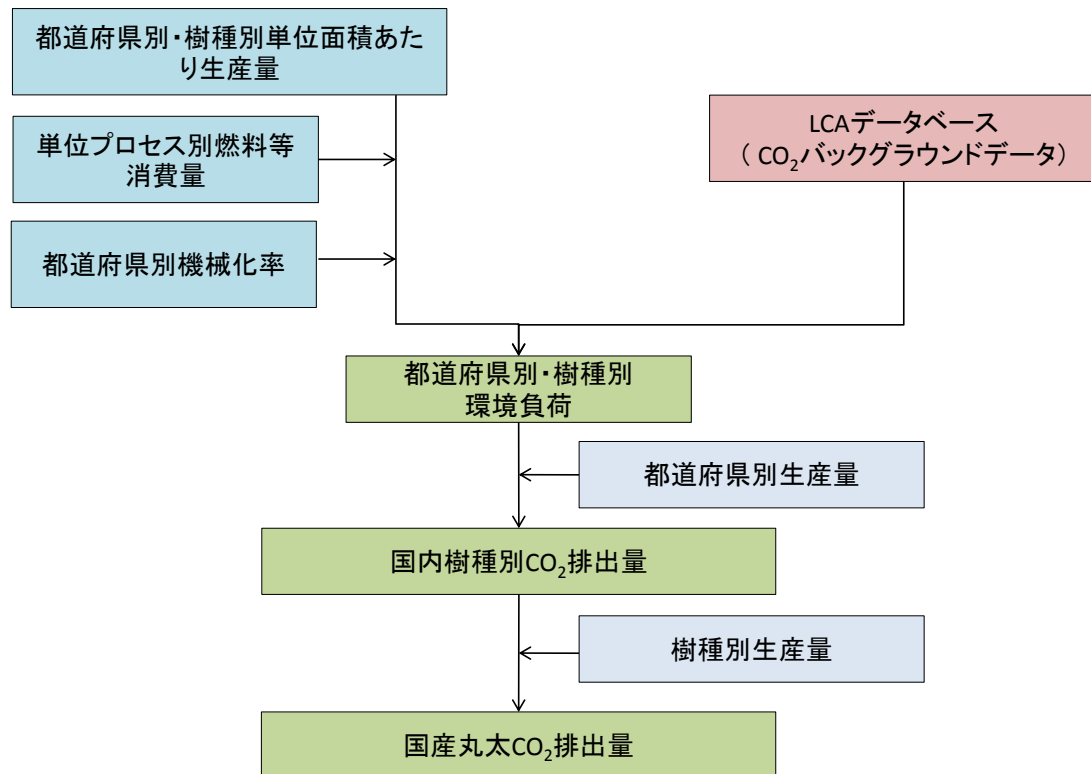


図 3-1 インベントリ分析手順

#### e. 算定の枠組み

育林・伐採・搬出段階においては、丸太が生産物となる。丸太は材積あたりで取引されることが一般であるため、丸太材積  $1\text{m}^3$  あたりの GHG 排出量算定をする。丸太材積  $1\text{m}^3$  あたりの GHG 排出量  $E_{log}$  は式 1 で示される。

$$E_{log} = \frac{\sum(E_i \cdot P_i)}{\sum(P_i)} \quad \dots(1)$$

ここで、 $E_i$ :  $i$  地域における丸太材積  $1\text{m}^3$  あたりの GHG 排出量[kg]、 $P_i$ :  $i$  地域における丸太生産量[ $\text{m}^3$ ]である。また、 $E_i$ は式 2 で示される。

$$E_i = \sum \sum (u_{jk} \cdot e_{jk}) \quad \dots(2)$$

上式中の記号はそれぞれ、 $u_{jk}$ :  $j$  プロセスにおける  $k$  技術の活動量[物理単位]、 $e_{jk}$ :  $j$  プロセスにおける  $k$  技術の活動量あたりの GHG 排出量[kg/物理単位]である。

#### f. システム境界

育林・伐採・搬出段階の主要なプロセスを下図に示した。地ごしらえ、植栽、除伐、主伐・搬出までを示した。また、通勤にかかる影響が比較的大きな割合を占めるという調査結果(大和田ら, 2012)もあるが、居住地から業務拠点(土場)までの移動は一般的な LCA に

においてシステム境界に含めていない。そのため、通勤の影響は利用者が適宜追加・除外ができるよう別途数値を示した。

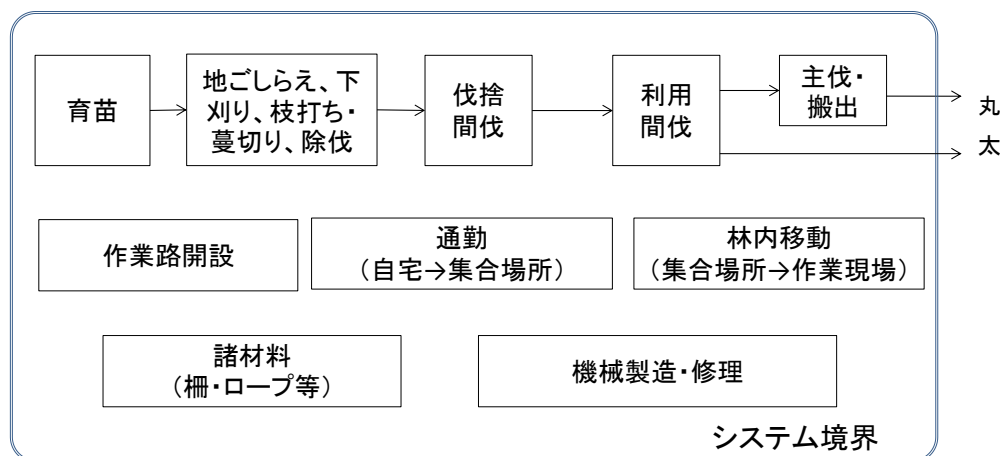


図 3-2 主要プロセス及びシステム境界

#### g. 収穫量の算定

「都道府県別・樹種別単位面積あたり生産量」を明らかにするため、システム収穫表「Lyics」を用いて下記の都道府県・地域について単位面積あたりのデータ収集を行った。

<スギ>

青森、秋田、山形、越後・会津、北関東・阿武隈、茨城、千葉、天城、大井・天竜、紀州、愛知・岐阜、山陰、土佐、熊本、鹿児島

<ヒノキ>

関東、天城、富士・箱根、大井・天竜、木曾、愛知・岐阜南部、紀州、土佐、中国、九州

<カラマツ>

北海道、岩手、出羽、信州

<トドマツ>

北海道

データ源はそれぞれの地域における市町村が運用している森林整備計画とし、一般的な初期立木本数[本/ha]、主伐時林齢[年]、間伐回数[回]、間伐時林齢[年]などを調査した。ただし、トドマツ（北海道）に関してはより最新データに基づき算定できる「北海道版トドマツ人工林収穫予測ソフト ver1.30」<sup>1</sup>（北海道立総合研究機構林業試験場）を利用した。なお、間伐されたものを搬出（利用）するかどうかの判断により収穫量が変化する。そこで、搬出（利用）条件として幹直径を 8 cm 以上、14 cm 以上（デフォルト値）、18 cm 以上と 3 種類に分けて以下の計算を行った。

<sup>1</sup> 北海道立総合研究機構 林業試験場ホームページよりダウンロード可能  
<http://www.fri.hro.or.jp/syukakuyosoku/todosyukaku.html> （2016年3月2日閲覧）



## h. 施業工程別データ

「単位プロセス別燃料等消費量」として、各工程におけるデータ収集を行った。

### (ア) 育苗

外岡ら(2013)によると CO<sub>2</sub> 排出量は非常に少ないと報告されている。そのため、米国の Greenhouse seedling, softwood データ(National Renewable Energy Laboratory 2015)を用いた。ただし電力等のバックグラウンドデータは日本の IDEA v.1.1 を用いた。

### (イ) 地ごしらえ

人力刈払機、ブルドーザ、グラップルレーキ（ベースマシンはエクスカベータ）、ブラッシュカッター（ベースマシンはエクスカベータ）の 4 ケースにおける面積あたり燃料消費量が報告されている（古俣ら, 2009）。このとき、重機利用時は人力刈払機利用時に比べて 10 倍以上 CO<sub>2</sub> 排出量が多い。一方、一重ら(2013)ではほぼ人力で行われているとし、カットオフされている。

そこで、人力刈払機（12.3L-混合油/ha,  $3.46 \times 10^1$  kg-CO<sub>2</sub>e/ha に相当）が一般的に用いられているとし、当該データを利用した。

### (ウ) 植栽

一重ら(2013)ではほぼ人力で行われているとし、評価からカットオフするなど、植栽プロセスの GHG 排出量を評価している事例を見つけられなかった。そのため、本プロセスでは林内移動のみ評価することにした。

### (エ) 下刈り

古俣ら(2009)による北海道のカラマツの事例では 6 回実施するとし、燃料消費量(4.4L-混合油/ha 回)が報告されている。一重ら(2013)では愛媛県新居浜（ヒノキ、スギ）では 5 回実施するとして燃料消費量（9.1L-混合油/ha 回）が報告されている。本調査では本州による生産が大部分であるため、一重ら(2013)の条件を利用した。

### (オ) 枝打ち・蔓切り

一重ら(2013)は愛媛県新居浜（ヒノキ、スギ）にて燃料消費量（5.6L-混合油/ha）を報告している。全体に対する寄与は小さいと考え、一重ら(2009)の条件を一律に適用する。GHG 排出量は、 $1.57 \times 10^1$  kg-CO<sub>2</sub>e/ha となる。

### (カ) 除伐

一重ら(2013)は愛媛県新居浜（ヒノキ、スギ）にてチェーンソーを用いる際の燃料消費量（4.2L-混合油/ha）を報告している。全体に対する寄与は小さいと考え、一重ら(2009)の条件を一律に適用する。GHG 排出量は、 $1.18 \times 10^1$  kg-CO<sub>2</sub>e/ha となる。

### (キ) 間伐（伐捨）



古俣ら(2009)による北海道のカラマツの事例ではチェーンソーを用いるとして燃料消費量（7.4ml-混合油/本）が報告されている。一重ら(2013)では愛媛県新居浜（ヒノキ、スギ）の事

例として燃料消費量 (3.1L-混合油/ha) が報告されている。そこで、伐捨間伐本数に対応可能な古俣ら(2009)の数値を一律に用いることにした。GHG 排出量は、 $2.08 \times 10^2$  kg-CO<sub>2</sub>e/本となる。なお、古俣ら(2009)は平均直径 14cm 未満を伐捨間伐とし、それ以上を利用間伐としている。

(ク) 利用間伐・主伐

本検討では、国内の作業システムを架線系と車両系に大別した。架線系と車両系の考え方を下表に示した。架線系はチェーンソーで伐倒から造材までを行い、タワーヤード等の架線系にて集材を行う。一方、車両系において伐倒はチェーンソーで行うものの、造材はプロセッサが行い、フォワーダにて集材するものとした。両手法とも、撻積/積込はグラップルで行うものとした。

表 3-4 作業システムの分類

名称	構成
架線系	 <p>伐倒・造材:チェーンソー      集材:タワーヤード等      撻積/積込:グラップル</p>
車両系	 <p>伐倒:チェーンソー      造材:プロセッサ      集材:フォワーダ      撻積/積込:グラップル</p>

\*写真は全て林野庁 WEB より引用

各工程における燃料消費量は、本調査によるヒアリング (北海道 2 事業体 5 サイト、宮崎県 2 事業体 2 サイトの他、京都府、熊本県の各 1 事業体 1 サイト)、既往研究(Hitoe et al 2013)をもとに下表のように設定した。間伐は材積あたりの本数が多いため、材積あたりでは燃料消費量が多い。本データは架線系と車両系のそれぞれの現場における実際のデータを整理したものである。同じ現場で作業システムを変更した場合のデータではないため、異なった作業システム間での CO<sub>2</sub> 排出量の大小を論じることはできない。しかし、海外の研究事例(Berg and Karjalainen, 2003; Engel et al., 2012)においても重機を利用した作業システムの材積あたりの CO<sub>2</sub> 排出量が多い傾向を示しており、本調査結果と同様であった。

表 3-5 主伐・間伐それぞれ 1m<sup>3</sup>あたりの燃料消費量

		利用間伐		主伐	
		架線系	車両系	架線系	車両系
伐倒	混合油 (L/m <sup>3</sup> )	5.29E-01	3.19E-01	5.33E-01	1.04E-01

		利用間伐		主伐	
		架線系	車両系	架線系	車両系
造材	混合油 (L/m <sup>3</sup> )	(伐倒に含 まれる)	4.34E-01	(伐倒に含 まれる)	-
	軽油 (L/m <sup>3</sup> )		3.07E+00		1.40E+00
集材	混合油 (L/m <sup>3</sup> )	4.38E-02	5.84E-02	4.22E-03	-
	軽油 (L/m <sup>3</sup> )	2.80E+00	2.19E+00	9.62E-01	1.59E+00
撻積/積込	混合油 (L/m <sup>3</sup> )	7.09E-02	7.09E-02	1.94E-02	1.94E-02
	軽油 (L/m <sup>3</sup> )	2.95E+00	2.95E+00	1.97E+00	1.97E+00
合計	混合油 (L/m <sup>3</sup> )	6.44E-01	8.82E-01	5.56E-01	1.23E-01
	軽油 (L/m <sup>3</sup> )	5.74E+00	8.21E+00	2.94E+00	4.96E+00

また、これら作表に用いた現地ヒアリング部分のデータ源および条件を下表に示した。

表 3-6 現地ヒアリングのデータ源および条件

事業者 (記号)	都道府県	主伐 / 間伐	樹種・林齢	作業システム
A	北海道	主伐	カラマツ・40年生	伐倒(チェーンソー)→集材(グラップル・ブルドーザー)
B	北海道	主伐	カラマツ・56年生	伐倒(チェーンソー)→集材(グラップル・ブルドーザー)→造材(ハーベスタ)→撻積(グラップル)
		間伐	カラマツ・55年生	伐倒(チェーンソー)→集材(グラップル・ブルドーザー)→造材(ハーベスタ)→撻積(グラップル)
		間伐	トドマツ・47年生	伐倒(チェーンソー・ハーベスタ)→集材(ブルドーザー)→造材(ハーベスタ)→撻積(グラップル)
		間伐	雑木・約80年生	伐倒(チェーンソー)→集材(グラップル・ブルドーザー)→造材(ハーベスタ)→撻積(グラップル)
C	京都府	間伐	スギ・32-108年生	伐倒(チェーンソー)→集材・造材(ハーベスタ)→運材(フォワーダ)
D	熊本県	主伐	スギ・49-62年生	伐倒(チェーンソー)→集材(スイングヤーダ)→造材(プロセッサ)→運材(フォワーダ)
		間伐	ヒノキ・35年生	伐倒(チェーンソー)→集材(スイングヤーダ)→造材(プロセッサ)→運材(フォワーダ)
E	宮崎県	主伐	スギ・38年生	伐倒(チェーンソー)→集材(スイングヤーダ)→造材(プロセッサ)
F	宮崎県	間伐	スギ・48年生 ヒノキ・48年生	伐倒(チェーンソー)→集材(スイングヤーダ、ウインチ付きグラップル)→造材(プロセッサ)→運材(フォワーダ)

また、ヒアリングに用いた調査票を下記に示す。

表 3-7 現地調査における調査票（主伐用）

名称	〇〇森林組合		←非公開(都道府県名のみ公開)		
1.作業					
種類	主伐				
作業期間	〇年〇月〇日～〇月〇日				
事業所-現場間距離	片道約〇km				
作業対象の林分状況					
樹種1	〇〇(スギ、ヒノキ等)				
比率	〇〇%				
林齢	〇〇～〇〇年生				
平均胸高直径	〇〇cm				
平均樹高	〇〇m				
成木本数	〇〇本/ha				
樹種2	〇〇(スギ、ヒノキ等)				
比率	〇〇%				
林齢	〇〇～〇〇年生				
平均胸高直径	〇〇cm				
平均樹高	〇〇m				
成木本数	〇〇本/ha				
伐採面積	〇〇ha				
集材方法	(全木、全幹、短幹)				
平均斜度	〇度				
(択伐の場合)択伐率	〇〇%or皆伐				
林内路網密度	〇m/ha				
2.作業時燃料消費量等					
区分	機械種類	機械能力・型番等	燃料種類	燃料使用量もしくは燃料費	労務[人日]
伐倒	(例)チェーンソー	排気量〇cm <sup>3</sup>	混合油	〇〇L	〇〇人日
集材	(例)スイングヤーダ	アタッチメント:XXXXX ベースマシン:XXXXX	軽油	〇〇L	〇〇人日
造材	(例)プロセッサ	アタッチメント:XXXXX ベースマシン:XXXXX	軽油	〇〇L	〇〇人日
運材	(例)フォワーダ	最大積載〇〇t	軽油	〇〇L	〇〇人日
3.生産量					
	樹種1	樹種2			
作業期間中の生産量 (搬出量)	〇〇m <sup>3</sup> (〇〇本)	〇〇m <sup>3</sup> (〇〇本)			

表 3-8 現地調査における調査票（間伐用）

名称 〇〇森林組合 ←非公開(都道府県名のみ公開)

1.作業	
種類	間伐
作業期間	〇年〇月〇日～〇月〇日
事業所-現場間距離	片道約〇km

作業対象の林分状況	
樹種1	〇〇(スギ、ヒノキ等)
比率	〇〇%
林齢	〇〇～〇〇年生
平均胸高直径	〇〇cm
平均樹高	〇〇m
成木本数	〇〇本/ha
間伐率	〇〇%
樹種2	〇〇(スギ、ヒノキ等)
比率	〇〇%
林齢	〇〇～〇〇年生
平均胸高直径	〇〇cm
平均樹高	〇〇m
成木本数	〇〇本/ha
間伐率	〇〇%
伐採面積	〇〇ha
集材方法	(全木、全幹、短幹)
平均斜度	〇度
林内路網密度	〇m/ha

2.作業時燃料消費量等					
区分	機械種類	機械能力・型番等	燃料種類	燃料使用量もしくは燃料費	労務[人日]
伐倒	(例)チェーンソー	排気量〇cm <sup>3</sup>	混合油	〇〇L	〇〇人日
集材	(例)スイングヤーダ	アタッチメント:XXXXX ペースマシン:XXXXX	軽油	〇〇L	〇〇人日
造材	(例)プロセッサ	アタッチメント:XXXXX ペースマシン:XXXXX	軽油	〇〇L	〇〇人日
運材	(例)フォワーダ	最大積載〇〇t	軽油	〇〇L	〇〇人日

3.生産量		
	樹種1	樹種2
作業期間中の生産量 (搬出量)	〇〇m <sup>3</sup> (〇〇本)	〇〇m <sup>3</sup> (〇〇本)
作業期間中の伐り捨て 間伐量	〇〇m <sup>3</sup> (〇〇本)	〇〇m <sup>3</sup> (〇〇本)

(ケ) 作業路開設

鈴木ら(2010)が距離あたりの燃料消費量を示している。そこで、本検討では作業路を評価対象にしているため、民有林作業道のデータを利用する。GHG 排出量は  $2.91 \times 10^1$  kg-CO<sub>2</sub>e/m となる。

表 3-9 路網開設時における燃料消費量と年間開設量

		軽油消費量[L/m]	開設量[km/年]
民有林林道	1 級	70.7	436
	2 級	41.0	
	3 級	27.1	
国有林林道		36.7	123
民有林作業道		10.0	3,764

\*鈴木ら(2010)より抜粋。開設量は 2007 年のデータ

(コ) 林内移動

林内移動は集合場所から作業現場までの移動とした。各都道府県の林業経営体数と保有山林面積から平均面積を求めた。次に、各林業経営体の保有山林を正方形と仮定し、頂点から中心への距離を片道の距離とした。全国平均は往復 997 m で、最短が千葉の 374 m、最長が東京の 4208 m であった。林内移動はガソリン乗用車利用、平均速度 20 km/h と仮定し、燃費式から燃費を 10.9 km/L とした。乗車人数は 4 人と仮定した。下表に結果を示した。

表 3-10 林内輸送距離等の算定結果

都道府県	保有山林面積[ha]	経営体数	平均面積[ha/事業体]	推定往復距離[m]	燃料消費量[L/台]	4人乗車時燃料消費量[L/人]
全国平均	4,313,504	86,712	50	997	0.091	0.023
北海道	1,033,295	7,862	131	1,621	0.148	0.037
青森	47,384	2,052	23	680	0.062	0.016
岩手	178,872	4,972	36	848	0.078	0.019
宮城	71,392	1,352	53	1,028	0.094	0.024
秋田	105,879	2,705	39	885	0.081	0.020
山形	138,961	1,316	106	1,453	0.133	0.033
福島	78,718	2,718	29	761	0.070	0.017
茨城	15,036	1,246	12	491	0.045	0.011
栃木	67,212	2,201	31	781	0.071	0.018
群馬	37,379	880	42	922	0.084	0.021
埼玉	20,601	366	56	1,061	0.097	0.024
千葉	4,039	578	7	374	0.034	0.009
東京	259,364	293	885	4,208	0.385	0.096
神奈川	27,836	325	86	1,309	0.120	0.030
新潟	90,004	1,932	47	965	0.088	0.022
富山	26,149	470	56	1,055	0.096	0.024
石川	34,652	1,303	27	729	0.067	0.017
福井	44,935	1,246	36	849	0.078	0.019
山梨	24,778	425	58	1,080	0.099	0.025
長野	170,129	2,747	62	1,113	0.102	0.025
岐阜	158,772	4,636	34	828	0.076	0.019
静岡	104,378	1,966	53	1,030	0.094	0.024
愛知	48,097	1,266	38	872	0.080	0.020
三重	47,546	1,241	38	875	0.080	0.020
滋賀	52,857	826	64	1,131	0.103	0.026

京都	63,540	1,574	40	899	0.082	0.021
大阪	17,788	267	67	1,154	0.106	0.026
兵庫	103,672	1,650	63	1,121	0.103	0.026
奈良	76,108	1,400	54	1,043	0.095	0.024
和歌山	70,193	1,253	56	1,058	0.097	0.024
鳥取	65,885	1,806	36	854	0.078	0.020
島根	94,855	2,663	36	844	0.077	0.019
岡山	77,497	2,981	26	721	0.066	0.016
広島	112,005	4,460	25	709	0.065	0.016
山口	63,516	2,000	32	797	0.073	0.018
徳島	42,580	1,001	43	922	0.084	0.021
香川	6,783	298	23	675	0.062	0.015
愛媛	79,817	2,469	32	804	0.074	0.018
高知	96,805	2,130	45	953	0.087	0.022
福岡	46,719	1,836	25	713	0.065	0.016
佐賀	20,621	1,251	16	574	0.053	0.013
長崎	29,988	560	54	1,035	0.095	0.024
熊本	92,753	2,763	34	819	0.075	0.019
大分	85,853	3,225	27	730	0.067	0.017
宮崎	122,640	3,141	39	884	0.081	0.020
鹿児島	53,312	1,050	51	1,008	0.092	0.023
沖縄	2,314	10	231	2,151	0.197	0.049

また、林内移動量を推計するためには、1人1日あたりの作業量を設定する必要がある。そこで、都道府県等が作成・公開している標準歩掛等の資料をもとに人工を設定し、下表にまとめた。

表 3-11 人工の設定条件

プロセス	人工	参考文献
地ごしらえ	植生等によって開きが想定されるが、27人日/haと仮定した。	広島県, 2013
植栽	植付歩掛を参考にし、6.25人日/160本とした。	埼玉県農林公社, 2013
下刈り	機械人力併用下刈歩掛を参考にし、46人日/haとした。	埼玉県農林公社, 2013
枝打ち・蔓切り	つる切り歩掛および枝打歩掛を参考にし、2人日/100本、とした。	埼玉県農林公社, 2013
除伐	除伐歩掛を参考にし、20人日/haとした。	埼玉県農林公社, 2013
伐捨間伐	選木歩掛および伐倒歩掛を参考にし、0.88人日/100本とした。	埼玉県農林公社, 2013
利用間伐	全国平均より、架線系を0.29人日/m <sup>3</sup> 、車両系を0.23人日/m <sup>3</sup> とした。	平成21年林業白書
主伐・搬出	全国平均より、架線系を0.25人日/m <sup>3</sup> 、車両系を0.19人日/m <sup>3</sup> とした。	平成21年林業白書

(サ) 通勤

社会生活基本調査(総務省統計局, 2011)にて職業別に通勤時間が示されているため、農林水産業従事者の通勤時間と一般道の平均速度(国土交通省, 2011)、燃費式(大城ら, 2001)から算定した。往復の通勤距離の平均は 12 km、最長は三重県の 30.1 km、最短は京都府の 2.5 km であった。

表 3-12 通勤時のガソリン消費量の算定

都道府県	総平均時間 (通勤)[分]	昼間 12 時間平均旅行 速度・山地部[km/h]	走行距 離[km]	ガソリン消費 量[L]
全国	16	44.2	11.8	0.7
北海道	24	54.6	21.8	1.2
青森	18	47.9	14.4	0.8
岩手	9	45.7	6.9	0.4
宮城	20	49.6	16.5	0.9
秋田	18	49.1	14.7	0.8
山形	14	48.1	11.2	0.6
福島	10	47.3	7.9	0.5
茨城	12	44.4	8.9	0.5
栃木	10	40.3	6.7	0.4
群馬	24	40.9	16.4	1.0
埼玉	11	41.5	7.6	0.5
千葉	15	43.7	10.9	0.7
東京	16	38.6	10.3	0.7
神奈川	33	43	23.7	1.4
新潟	8	40	5.3	0.3
富山	14	42.7	10.0	0.6
石川	27	46.5	20.9	1.2
福井	8	42.8	5.7	0.3
山梨	18	41.4	12.4	0.8
長野	10	43	7.2	0.4
岐阜	16	45.4	12.1	0.7
静岡	12	39.4	7.9	0.5
愛知	34	34.2	19.4	1.3
三重	37	48.8	30.1	1.7
滋賀	15	42.2	10.6	0.6
京都	3	50.1	2.5	0.1
大阪	26	36.9	16.0	1.0
兵庫	12	47	9.4	0.5
奈良	24	48.5	19.4	1.1
和歌山	12	41.9	8.4	0.5
鳥取	7	47.8	5.6	0.3
島根	8	50.4	6.7	0.4



都道府県	総平均時間 (通勤)[分]	昼間 12 時間平均旅行 速度・山地部[km/h]	走行距 離[km]	ガソリン消費 量[L]
岡山	7	45.2	5.3	0.3
広島	23	43.6	16.7	1.0
山口	13	47.1	10.2	0.6
徳島	16	41.2	11.0	0.7
香川	5	37.7	3.1	0.2
愛媛	7	43	5.0	0.3
高知	18	41.3	12.4	0.8
福岡	22	41.5	15.2	0.9
佐賀	12	43.6	8.7	0.5
長崎	12	46.9	9.4	0.5
熊本	15	46.4	11.6	0.7
大分	7	46	5.4	0.3
宮崎	14	45.7	10.7	0.6
鹿児島	15	46.5	11.6	0.7
沖縄	21	33.7	11.8	0.8

#### i. 作業システム

本検討では、国内の作業システムを車両系と架線系に大別した。そこで、各都道府県における車両系と架線系の割合を、素材生産量と高性能林業機械による推定生産量から算定した。

各都道府県の素材生産量は、平成 26 年木材需給報告書（林野庁, 2015）を利用した。

高性能林業機械による生産量は、フェラーバンチャ、ハーベスタ、プロセッサの生産性、稼働率、導入台数から推算した。稼働率、導入台数は林野庁ホームページより引用した。当該稼働率は(当該高性能林業機械の年間稼働日数／当該事業者が機械を保有した日数から週休、雨天等休業日数を差引いた日数)×100 で算出している。そのため、建設機械等損料表に基づき年間労働日数である 219 日を「当該事業者が機械を保有した日数から週休、雨天等休業日数を差引いた日数」と扱った。また、国内における生産量のうちおよそ 60 % が高性能林業機械による生産との推計が林業白書に記載があるため、当該推計の全国平均値がおおよそその数値になるよう高性能林業機械の生産量[m<sup>3</sup>/日]を調整した。その結果、高性能林業機械（フェラーバンチャ、ハーベスタ、プロセッサ）の生産量を 37 m<sup>3</sup>/日と設定した。

表 3-13 高性能林業機械の稼働率と生産量の前提条件

機械種類	稼働率	生産量[m <sup>3</sup> /日]
フェラーバンチャ	37%	37
ハーベスタ	56%	37
プロセッサ	56%	37

表 3-14 車両系作業システムの割合の推定

都道府県	車両系作業システム割合	都道府県	車両系作業システム割合
北海道	70%	滋賀	41%
青森	47%	京都	61%
岩手	35%	大阪	90%
宮城	68%	兵庫	88%
秋田	54%	奈良	18%
山形	41%	和歌山	90%
福島	66%	鳥取	78%
茨城	46%	島根	48%
栃木	54%	岡山	78%
群馬	90%	広島	70%
埼玉	67%	山口	39%
千葉	7%	徳島	90%
東京	25%	香川	90%
神奈川	43%	愛媛	79%
新潟	31%	高知	90%
富山	90%	福岡	90%
石川	60%	佐賀	64%
福井	90%	長崎	80%
山梨	64%	熊本	50%
長野	90%	大分	47%
岐阜	75%	宮崎	59%
静岡	90%	鹿児島	29%
愛知	61%	沖縄	0%
三重	35%	全国	59%

\*: 林野庁ホームページ：高性能林業機械の稼働状況（平成24年度末現在）  
<http://www.rinya.maff.go.jp/j/kaihatsu/kikai/daisuu.html>

#### j. 地域別樹種別 CO<sub>2</sub> 排出量

システム収穫表「Lycs」にてモデル化した地域と都道府県は完全に合致しないことから、下表に示す形で樹種別に「あてはめ地域」を設定し、都道府県との整合化を行った。

表 3-15 スギの地域と都道府県のあてはめ

都道府県	生産量 [千 m <sup>3</sup> ] (平成 26 年木材需 給報告書)	あてはめ地域
北海道	72	青森地方スギ収穫表(地位 2)
青森	597	青森地方スギ収穫表(地位 2)
岩手	596	青森地方スギ収穫表(地位 2)
宮城	430	秋田地方スギ収穫表(地位 1)
秋田	1,079	秋田地方スギ収穫表(地位 1)
山形	259	山形地方・民スギ収穫表(地位 2)
福島	450	越後・会津地方スギ収穫表(地位 2)
茨城	297	茨城地方スギ収穫表(地位 2)
栃木	320	北関東・阿武隈地方スギ収穫表(地位 2)
群馬	158	北関東・阿武隈地方スギ収穫表(地位 2)
埼玉	43	北関東・阿武隈地方スギ収穫表(地位 2)
千葉	44	千葉地方スギ収穫表(地位 2)
東京	26	千葉地方スギ収穫表(地位 2)
神奈川	5	千葉地方スギ収穫表(地位 2)
新潟	136	越後・会津地方スギ収穫表(地位 2)
富山	35	天城地方スギ収穫表(地位 2)
石川	97	越後・会津地方スギ収穫表(地位 2)
福井	81	越後・会津地方スギ収穫表(地位 2)
山梨	26	北関東・阿武隈地方スギ収穫表(地位 2)
長野	71	大井・天竜地方スギ収穫表(地位 2)
岐阜	174	愛知・岐阜地方スギ収穫表(地位 2)
静岡	147	大井・天竜地方スギ収穫表(地位 2)
愛知	70	愛知・岐阜地方スギ収穫表(地位 2)
三重	141	紀州地方スギ収穫表(地位 2)
滋賀	28	愛知・岐阜地方スギ収穫表(地位 2)
京都	99	愛知・岐阜地方スギ収穫表(地位 2)
大阪	3	愛知・岐阜地方スギ収穫表(地位 2)
兵庫	182	愛知・岐阜地方スギ収穫表(地位 2)
奈良	89	紀州地方スギ収穫表(地位 2)
和歌山	105	紀州地方スギ収穫表(地位 2)
鳥取	121	山陰地方スギ収穫表(地位 2)
島根	206	山陰地方スギ収穫表(地位 2)
岡山	151	山陰地方スギ収穫表(地位 2)
広島	81	山陰地方スギ収穫表(地位 2)

都道府県	生産量 [千 m <sup>3</sup> ] (平成 26 年木材需 給報告書)	あてはめ地域
山口	130	山陰地方スギ収穫表(地位 2)
徳島	237	土佐地方スギ収穫表(地位 2)
香川	1	土佐地方スギ収穫表(地位 2)
愛媛	318	土佐地方スギ収穫表(地位 2)
高知	353	土佐地方スギ収穫表(地位 2)
福岡	109	熊本地方スギ収穫表(地位 2)
佐賀	73	熊本地方スギ収穫表(地位 2)
長崎	36	熊本地方スギ収穫表(地位 2)
熊本	694	熊本地方スギ収穫表(地位 2)
大分	785	熊本地方スギ収穫表(地位 2)
宮崎	1,533	鹿児島地方・民スギ収穫表(地位 2)
鹿児島	505	鹿児島地方・民スギ収穫表(地位 2)
沖縄	-	

表 3-16 ヒノキの地域と都道府県のあてはめ

都道府県	生産量 [千 m <sup>3</sup> ] (平成 26 年木材需 給報告書)	あてはめ地域
北海道	-	
青森	-	
岩手	0	
宮城	1	関東地方ヒノキ収穫表(地位 2)
秋田	-	
山形	0	
福島	23	関東地方ヒノキ収穫表(地位 2)
茨城	77	関東地方ヒノキ収穫表(地位 2)
栃木	76	関東地方ヒノキ収穫表(地位 2)
群馬	11	関東地方ヒノキ収穫表(地位 2)
埼玉	12	関東地方ヒノキ収穫表(地位 2)
千葉	5	関東地方ヒノキ収穫表(地位 2)
東京	12	関東地方ヒノキ収穫表(地位 2)
神奈川	4	関東地方ヒノキ収穫表(地位 2)
新潟	0	

都道府県	生産量 [千 m3] (平成 26 年木材需 給報告書)	あてはめ地域
富山	0	
石川	1	木曾地方ヒノキ収穫表(地位 2)
福井	3	木曾地方ヒノキ収穫表(地位 2)
山梨	11	木曾地方ヒノキ収穫表(地位 2)
長野	56	富士・箱根地方ヒノキ収穫表(地位 2)
岐阜	145	木曾地方ヒノキ収穫表(地位 2)
静岡	113	愛知・岐阜南部地方ヒノキ収穫表(地位 2)
愛知	61	富士・箱根地方ヒノキ収穫表(地位 2)
三重	122	愛知・岐阜南部地方ヒノキ収穫表(地位 2)
滋賀	17	紀州地方ヒノキ収穫表(地位 2)
京都	41	愛知・岐阜南部地方ヒノキ収穫表(地位 2)
大阪	1	愛知・岐阜南部地方ヒノキ収穫表(地位 2)
兵庫	43	愛知・岐阜南部地方ヒノキ収穫表(地位 2)
奈良	74	愛知・岐阜南部地方ヒノキ収穫表(地位 2)
和歌山	59	紀州地方ヒノキ収穫表(地位 2)
鳥取	31	紀州地方ヒノキ収穫表(地位 2)
島根	36	中国地方ヒノキ収穫表(地位 2)
岡山	235	中国地方ヒノキ収穫表(地位 2)
広島	89	中国地方ヒノキ収穫表(地位 2)
山口	35	中国地方ヒノキ収穫表(地位 2)
徳島	24	中国地方ヒノキ収穫表(地位 2)
香川	3	土佐地方ヒノキ収穫表(地位 2)
愛媛	198	土佐地方ヒノキ収穫表(地位 2)
高知	228	土佐地方ヒノキ収穫表(地位 2)
福岡	13	土佐地方ヒノキ収穫表(地位 2)
佐賀	38	九州地方ヒノキ収穫表(地位 2)
長崎	24	九州地方ヒノキ収穫表(地位 2)
熊本	195	九州地方ヒノキ収穫表(地位 2)
大分	159	九州地方ヒノキ収穫表(地位 2)
宮崎	70	九州地方ヒノキ収穫表(地位 2)
鹿児島	49	九州地方ヒノキ収穫表(地位 2)
沖縄	-	

表 3-17 カラマツの地域と都道府県のあてはめ

都道府県	生産量 [千 m <sup>3</sup> ] (平成 26 年木材需 給報告書)	あてはめ地域
北海道	1,639	北海道地方カラマツ収穫表(地位 2)
青森	36	北海道地方カラマツ収穫表(地位 2)
岩手	302	岩手地方カラマツ収穫表(地位 2)
宮城	6	岩手地方カラマツ収穫表(地位 2)
秋田	21	岩手地方カラマツ収穫表(地位 2)
山形	7	出羽地方カラマツ収穫表(地位 2)
福島	20	出羽地方カラマツ収穫表(地位 2)
茨城	0	
栃木	2	信州地方カラマツ収穫表(地位 2)
群馬	30	信州地方カラマツ収穫表(地位 2)
埼玉	0	
千葉	-	
東京	10	信州地方カラマツ収穫表(地位 2)
神奈川	0	
新潟	1	信州地方カラマツ収穫表(地位 2)
富山	0	
石川	0	
福井	-	
山梨	23	信州地方カラマツ収穫表(地位 2)
長野	236	信州地方カラマツ収穫表(地位 2)
岐阜	28	信州地方カラマツ収穫表(地位 2)
静岡	0	
愛知	7	愛知・岐阜南部地方ヒノキ収穫表(地位 2)
三重	-	
滋賀	-	
京都	-	
大阪	-	
兵庫	1	愛知・岐阜南部地方ヒノキ収穫表(地位 2)
奈良	-	
和歌山	-	
鳥取	-	
島根	-	
岡山	-	
広島	-	

都道府県	生産量 [千 m <sup>3</sup> ] (平成 26 年木材需 給報告書)	あてはめ地域
山口	-	
徳島	-	
香川	-	
愛媛	-	
高知	-	
福岡	-	
佐賀	-	
長崎	-	
熊本	-	
大分	-	
宮崎	-	
鹿児島	-	
沖縄	-	

なお、トドマツは全て北海道地域で算定した。

次に、各地域における樹種毎の丸太材積 1m<sup>3</sup>あたりの CO<sub>2</sub> 排出量を算出し、平均値、最大値、最小値を一覧に示した。

表 3-18 スギ：丸太の CO<sub>2</sub> 排出量[kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>]

プロセス	最小値	平均値	最大値
育苗	0.0	0.1	0.2
地ごしらえ	0.0	0.1	0.1
下刈り	0.1	0.3	0.5
枝打ち・蔓切り	0.1	0.2	0.5
除伐	0.0	0.0	0.0
伐捨間伐	0.0	0.1	0.2
利用間伐	0.0	4.3	9.5
主伐・搬出	6.8	10.5	14.4
作業路開設	0.0	0.5	1.4
林内移動	0.0	0.0	0.2
通勤	0.4	1.4	4.5
諸材料	0.1	0.2	0.3
機械製造・修理	4.3	4.8	5.1
合計	18.8	22.6	25.8

※対象地：沖縄を除く全国

表 3-19 ヒノキ：丸太のCO<sub>2</sub>排出量[kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>]

プロセス	最小値	平均値	最大値
育苗	0.2	0.3	0.5
地ごしらえ	0.1	0.1	0.2
下刈り	0.4	0.5	0.9
枝打ち・蔓切り	0.1	0.4	0.9
除伐	0.0	0.0	0.1
伐捨間伐	0.1	0.2	0.8
利用間伐	0.0	2.6	6.0
主伐・搬出	8.4	11.8	14.4
作業路開設	0.0	0.7	2.6
林内移動	0.0	0.1	0.4
通勤	0.5	2.0	6.0
諸材料	1.1	1.5	2.6
機械製造・修理	4.3	4.9	5.1
合計	21.5	25.0	31.2

※対象地：北海道、青森、岩手、秋田、山形、新潟、富山、沖縄を除く全国

表 3-20 カラマツ：丸太のCO<sub>2</sub>排出量[kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>]

プロセス	最小	平均	最大
育苗	0.2	0.2	0.4
地ごしらえ	0.1	0.1	0.2
下刈り	0.5	0.6	0.9
枝打ち・蔓切り	0.2	0.4	0.6
除伐	0.0	0.0	0.1
伐捨間伐	0.0	0.1	1.7
利用間伐	0.0	3.7	5.6
主伐・搬出	8.9	11.2	13.2
作業路開設	0.0	1.0	2.1
林内移動	0.0	0.1	0.2
通勤	0.8	2.6	3.9
諸材料	0.0	0.1	0.1
機械製造・修理	4.5	4.9	5.1
合計	20.6	25.1	27.2

※対象地：北海道、青森、岩手、宮城、秋田、山形、福島、栃木、群馬、東京、新潟、山梨、長野、岐阜、愛知



表 3-21 トドマツ：丸太の CO<sub>2</sub> 排出量[kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>]

プロセス	北海道での数値
育苗	0.2
地ごしらえ	0.1
下刈り	0.6
枝打ち・蔓切り	0.4
除伐	0.0
伐捨間伐	0.0
利用間伐	3.5
主伐・搬出	11.5
作業路開設	1.1
林内移動	0.1
通勤	3.0
諸材料	0.0
機械製造・修理	4.9
合計	25.6

※対象地が北海道のみのため最大値・最小値欄は削除

以上の結果を下表にまとめた。本算定の結果を既往文献の値と比較すると、主伐および間伐の影響が最も大きく、その構成比はおおよそ同様であった。

表 3-22 樹種別丸太の CO<sub>2</sub> 排出量[kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>]

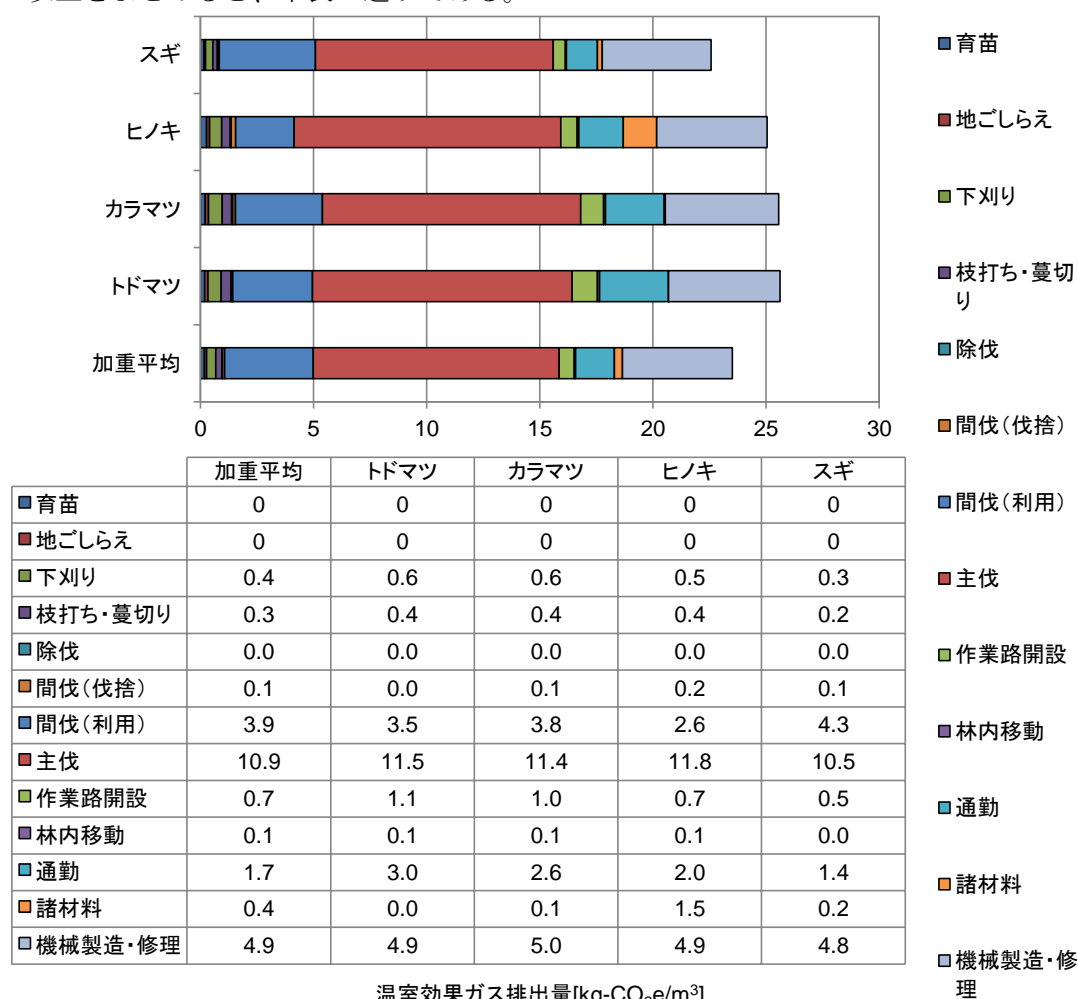
樹種	CO <sub>2</sub> 排出原単位 (通勤除く)	CO <sub>2</sub> 排出原単位 (通勤含む)
スギ	21.2	22.6
ヒノキ	23.1	25.0
カラマツ	22.5	25.1
トドマツ	22.6	25.6

また、利用間伐の判断基準として、幹直径を 8cm 以上、14cm 以上、18 cm 以上としたケースの結果を下表にまとめた。利用間伐材の伐採・搬出による CO<sub>2</sub> 排出量への寄与が大きい  
ため、幹直径変化による結果への影響は小さかった。ただし、本調査の対象外であるが、  
面積あたりの生産性という視点では結果が異なると考えられる。

表 3-23 樹種別・幹直径別丸太の CO<sub>2</sub> 排出量[kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>]

樹種	CO <sub>2</sub> 排出原単位 (通勤除く)			CO <sub>2</sub> 排出原単位 (通勤含む)		
	8cm 以上	14cm 以上	18cm 以上	8cm 以上	14cm 以上	18cm 以上
スギ	21.7	21.2	20.4	22.9	22.6	22.0
ヒノキ	23.7	23.1	22.5	25.4	25.0	24.7
カラマツ	23.1	22.5	21.4	25.5	25.1	24.3
トドマツ	23.1	22.6	21.5	25.9	25.6	25.0

以上をまとめると、下表の通りである。



温室効果ガス排出量[kg-CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>]

図 3-3 丸太の CO<sub>2</sub> 排出量まとめ[kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>]

### 3) 製材段階

製材段階での一般的な CO<sub>2</sub> 排出量を整理する。国土交通省（一般社団法人日本サステナブル建築協会受託）、慶應義塾大学伊香賀研究室等で作成された建築用木材データベースは、国内外の製材に関わる CO<sub>2</sub> 排出量等を算定できるソフトウェアである。パラメータとして下記の組み合わせが選択可能である。

- ・ 素材産地：日本、北米、チリ、ニュージーランド、南洋、北洋、欧州
- ・ 対象製品：製材、合板、集成材
- ・ 断面積：大（ひき角類）、中（ひき割類）、小（板類）
- ・ 樹種：国産（スギ、ヒノキ）、北米産（ベイマツ）、欧州産（スプルース、パイン）  
その他
- ・ 工場規模：国産材（大規模、小規模）、その他
- ・ 木質バイオマス利用率：100%、50%、0%、デフォルト（各素材産出国の代表値）  
\* 乾燥時に要する総熱量に対するバイオマス燃料利用率
- ・ 輸入港の所在地：国内 47 都道府県
- ・ 建設現場：国内 47 都道府県

当該ソフトウェアに搭載されているデータ作成方法等は南部ら(2012)にて報告されている。当該データはサンプル数こそ少ないものの、製材プロセスにおいては国内の主要製材所のデータが収集されており、一定の代表性があるものと考えられる。また、結果に最も影響を及ぼすパラメータである「木質バイオマス利用率」を変更可能である点も汎用性が高い。そのため、大きな技術的変化がない限り本ソフトウェアの枠組みを直接利用することが妥当と考えられる。

### 4) 廃棄・リサイクル段階

一般的な廃棄・リサイクル技術における CO<sub>2</sub> 排出量を整理した。

表 3-24 廃棄・リサイクル技術による CO<sub>2</sub> 排出量[kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>]

名称	CO <sub>2</sub> 排出量 [kg-CO <sub>2</sub> /kg]	出典	備考
建築混廃選別	$5.70 \times 10^{-4}$	産業技術総合研究所/産業環境管理協会：IDEA v.1.1	
チップ化	$4.80 \times 10^{-2}$	小林謙介、目澤理恵、田中秀樹、 間宮尚、井上隆：実態調査に基づく 建設廃棄物における異物の性状と 影響に関する研究 ～コンクリート塊・ 木くずを対象として～、 日本建築学会環境系論文集 No.600 pp.59-66、2006.2	川上側データ（電力等）のデータを IDEA v. 1.1 に置換し、再計算した。
RDF化	$1.08 \times 10^{-1}$		
焼却	$1.37 \times 10^{-1}$		
炭化	$4.17 \times 10^{-1}$		
埋立	$2.30 \times 10^{-2}$		

## (2) 繊維板の製造の CO<sub>2</sub> 排出量に関するデータベース構築

### 1) 調査方法

本調査では、繊維板としてパーティクルボード (PB)、インシュレーションボード (IB)、中密度繊維板 (MDF)、ハードボード (HB) の4種について CO<sub>2</sub> 排出量を整理した。当該4種の繊維板は、日本繊維板工業会傘下の企業にて製造されているため、当該工業会の協力を得てデータ収集・整備を行った。下表に対象繊維板の調査概要を示した。なお、当該4種の繊維板については過去に服部研究室 (東京農工大) のグループと日本繊維板工業会とで LCA 調査が行われているため、本結果はそれら過去のデータを再利用し、電力データや原料構成等を最新版に更新したものである。

表 3-25 評価対象とした繊維板の概要

製品種	パーティクルボード	インシュレーションボード	中密度繊維板	ハードボード
略称	PB	IB	MDF	HB
統計名称	削片板	軟質繊維板	中質繊維板	硬質繊維板
製品概要	木材原料を小片にし、プレス成形したものの。	木材原料を繊維状にして成形したもの 密度 0.35 g/cm <sup>3</sup> 未満		
関係規格	JIS A 5908	JIS A 5905 JIS A 9521	JIS A 5905	JIS A 5905
国内生産量 [千 m <sup>3</sup> ] (2013)	1,041	399	404	48
主な用途	建材 (床、壁)、造作材等	畳床、断熱仕上剤等	建材 (耐力壁、内装)、机、家具等	自動車内装、建材 (内装)、家具等
機能単位	1.0t	1.0t	1.0m <sup>3</sup>	1.0t
システム境界	チップ製造工場への搬入から板製造			
データ源	4社6工場 (国内シェア5割以上)	3工場 (国内シェア8割以上)	2社2工場 (国内シェア6割以上)	3社3工場 (国内シェア5割以上)
調査年	2004年4月～2005年3月	2005年度、2007年度	2009年4月～2010年3月	2005年4月～2006年3月

## 2) 生産プロセス

各繊維板の生産プロセスを下図に示した。パーティクルボードは削片板とも呼ばれることがあるように、細かく切削した木材を原料として利用する。当該原料は乾燥工程にて含水率を下げ、接着剤・撥水剤を添加した後、乾式フォーミングを行う。その後、板状に熱圧し、含水率を調湿したものである。パーティクルボードは JIS A 5908 によって強度等が規格化されている。

インシュレーションボードは原料である木材を蒸煮し、繊維化する。そして水およびサイズ剤が添加され、湿式にてフォーミングされる。その後、熱圧され、調湿したものがインシュレーションボードとなる。強度等は JIS A 5905 によって規格化されている。なお、密度は  $0.35 \text{ g/cm}^3$  未満と規格化されている。

中密度繊維板は、インシュレーションボードと同様に原料を繊維化させるが、それらはパーティクルボードのように乾燥工程を経て、乾式フォーミングにて板状に加工される。乾燥工程の後に、接着剤、撥水材を投入する点も同様である。強度等は JIS A 5905 によって規格化されており、密度は  $0.35 \text{ g/cm}^3$  以上、 $0.80 \text{ g/cm}^3$  未満とされている。

ハードボードはインシュレーションボードのように原料は繊維化され、水およびサイズ剤が添加される。しかし、その種類や加工条件が異なる。製品密度は  $0.80 \text{ g/cm}^3$  以上と JIS A 5905 によって規格化されている。

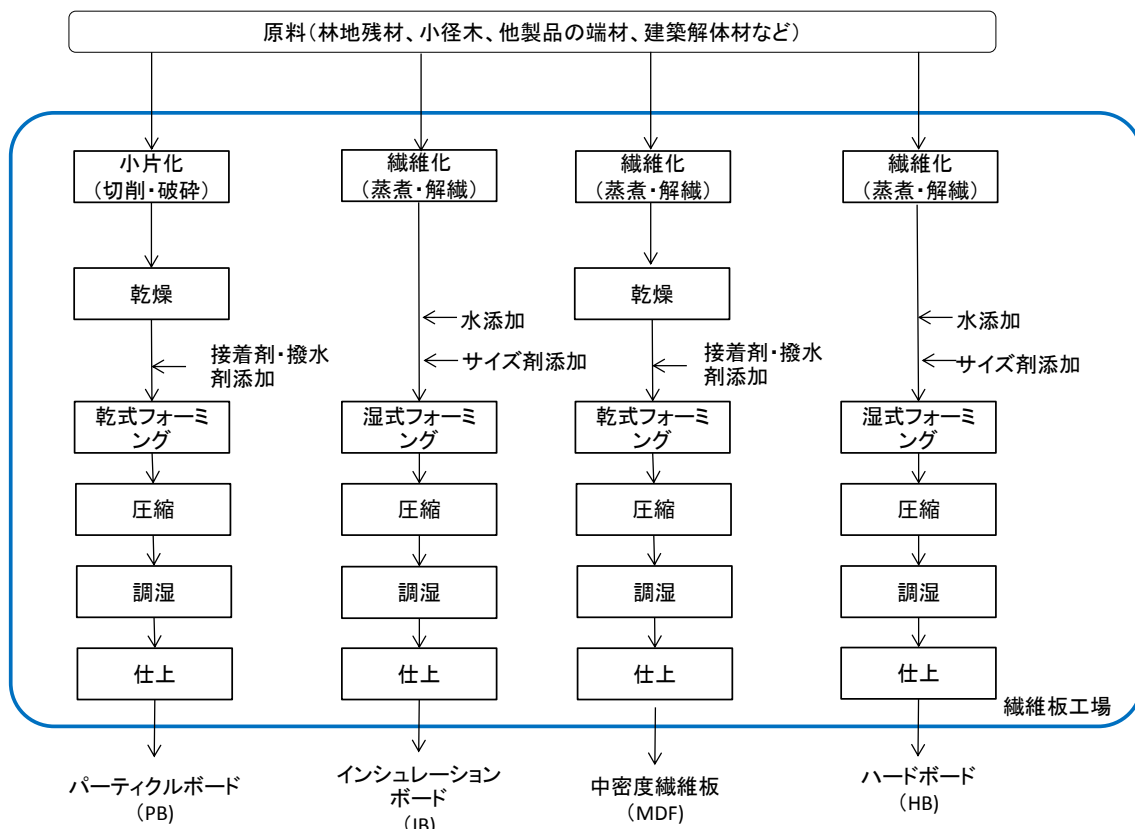


図 3-4 繊維板の生産プロセス概略

### 3) フォアグラウンドデータ

表に示したように、日本国内の繊維板の主要企業におけるデータ収集を行った。各繊維板製造時の単位プロセスデータを下表にまとめた。表中において、中密度繊維板の製品単位は体積(m<sup>3</sup>)であるが、それ以外は質量(t)である。なお、インシュレーションボードについては顧客から回収した使用済み品や他製品の不適合品などを原料に用いているが、それらの量がおおよそ 200 kg/m<sup>3</sup> とのことであったため、原料チップにその量を追加してある。

表 3-26 繊維板製造工程の入出力データ

			パーティクルボード	インシュレーションボード	中密度繊維板	ハードボード
Input	原料	原料チップ[kg]	1.06E+03	9.42E+02	7.98E+02	1.05E+03
		UF[kg]	4.66E+01		7.83E+01	
		MF[kg]	3.19E+01			
		MUF[kg]			5.32E+01	
		PF[kg]	2.14E+01			
		MDI[kg]	1.24E+01		1.84E+01	
		パラフィンワックス[kg]			9.58E+00	
		接着剤[kg]				1.27E+01
		添加剤[kg]		6.03E+01		1.27E+01
	燃料	買電[kWh]	2.43E+02	5.11E+02	2.82E+02	2.83E+02
		軽油[L]	1.18E+00		6.77E-01	1.27E+00
		重油[L]	2.47E+01	4.84E+01		2.65E+01
		都市ガス[m <sup>3</sup> ]	1.15E+01	2.40E+01	3.42E+01	
		木くず[kg]	1.60E+02	4.43E+02	1.11E+02	6.31E+02
	副資材	PE[kg]	2.02E-02			
		PP[kg]	2.06E-02			
		PET[kg]	2.61E-03			
	輸送	4tトラック[tkm]	1.53E-02	2.15E-01	1.69E+00	6.41E+00
		10tトラック[tkm]	1.46E+01	1.12E+02	1.69E+01	5.06E+01
		15tトラック[tkm]		5.18E-01		
		バルク船<8万DWT[tkm]			3.50E+03	3.80E+01
Output	製品		1.00t	1.00t	1.00m <sup>3</sup>	1.00t
	廃棄物	焼却灰[kg]	2.21E+00	2.13E+01*	5.35E+00*	3.04E+01

\* インシュレーションボードと中密度繊維板の廃棄物発生量に関するデータが入手できなかったため、ハードボードの燃料用木くず使用量からそれら発生量を推定した。

### 4) 原料構成

原料チップは、合板・製材工場残材、間伐材・林地残材、建築解体材など、様々な出生のものを利用している。そこで、各繊維板の原料構成を調査し、下表にまとめた。インシュレーションボードおよびハードボードは生産プロセスが類似しており、同一工場にて生産されているなど、データの区分けが困難であったため、同じ数値となっている。また、

パーティクルボードについては近年のデータが入手できなかったため、パーティクルボードおよび繊維板の平均値（繊維板工業会調査）を示した。これら数値は2014年のものであるが、パーティクルボードの数値のみ2013年である。

表 3-27 繊維板の木質原料の構成

	パーティクルボード	インシュレーションボード	中密度繊維板	ハードボード
素材チップ・間伐材・林地残材残材	10%	13%	24%	13%
合板・製材工場等残材	30%	30%	64%	30%
建築解体材	60%	57%	12%	57%
合計	100%	100%	100%	100%

## 5) バックグラウンドデータ

一般的な素材・エネルギー等のCO<sub>2</sub>排出量データ(バックグラウンドデータ)として、IDEA v.1.1 を用いた。ただし、繊維板には製品重量比で数十%もの接着剤が用いられており、妥当性の高いデータの利用が望まれる。そこで、接着剤の原料および製造時のエネルギーデータは澤田ら(2006)にて報告されているため、当該データを利用した。これに最新版のIDEA v.1.1 のデータを利用し、下表の通り接着剤のCO<sub>2</sub>排出量データを整備した。下表にバックグラウンドデータとして用いたCO<sub>2</sub>排出量一覧を示した。

表 3-28 接着剤製造時のCO<sub>2</sub>排出量

名称	CO <sub>2</sub> 排出量
ユリア樹脂接着剤 (UF)	1.14 kg-CO <sub>2</sub> e/kg <sup>*1</sup>
メラミン・ユリア共縮合樹脂接着剤 (MUF)	2.53 kg-CO <sub>2</sub> e/kg <sup>*1</sup>
フェノール樹脂接着剤 (PF)	1.10 kg-CO <sub>2</sub> e/kg <sup>*1</sup>
メラミン樹脂接着剤 (MF)	3.24 kg-CO <sub>2</sub> e/kg <sup>*2</sup>
ジフェニルメタンジイソシアネート (MDI)	2.88 kg-CO <sub>2</sub> e/kg <sup>*3</sup>

\*1 澤田ら(2006)のプロセスデータに、川上側バックグラウンドデータにIDEA v.1.1 を利用

\*2 澤田ら(2006)のMUFのプロセスデータのうち、尿素(ユリア)成分をメラミンに置換したうえで、川上側バックグラウンドデータにIDEA v.1.1 を利用

\*3 IDEA v.1.1 より引用

## 6) 結果

各繊維板の温室効果ガス排出量を下表にまとめた。その結果、パーティクルボードは493kg/t、インシュレーションボードは672kg/t、中密度繊維板は586kg/m<sup>3</sup>、ハードボードは367kg/tのCO<sub>2</sub>排出量となった。何れの製品においても買電の影響が最も大きく、27%から44%を占めた。また重油や都市ガスの利用に伴う影響も大きかった。原料の中では、木質材料よりも接着剤・添加剤の影響が大部分を占めた。輸送の影響や木質材料調達の影響は小さかった。

表 3-29 機能単位\*あたりの温室効果ガス排出量

		パーティクルボード	インシュレーションボード	中密度繊維板	ハードボード
原料	素材チップ・間伐材・林地残材[kg]	8.20	7.29	6.17	8.12
	合板・製材工場等残材[kg]	4.93	4.38	3.71	4.88
	建築解体材[kg]	9.86	8.76	7.42	9.77
	UF[kg]	53.12		89.26	
	MF[kg]	103.36			
	MUF[kg]			134.60	
	PF[kg]	23.54			
	MDI[kg]	35.71		52.99	
	パラフィンワックス[kg]			2.84	
	接着剤[kg]				62.74
	添加剤[kg]		127.23		26.80
燃料	買電[kWh]	137.78	289.74	159.89	160.46
	軽油[L]	3.45		1.98	3.71
	重油[L]	76.57	150.04		82.15
	都市ガス[m <sup>3</sup> ]	33.35	69.60	99.18	
	木くず[kg]				
副資材	PE[kg]	0.04			
	PP[kg]	0.04			
	PET[kg]	0.01			
輸送	4tトラック[tkm]	0.01	0.03	0.31	1.00
	10tトラック[tkm]	2.53	14.67	2.21	6.63
	15tトラック[tkm]		0.06		
	バルク船 <8万DWT[tkm]			25.55	0.28
廃棄物処理	埋立処理	0.01	0.08	0.02	0.12
合計		492.50	671.89	586.13	366.65

\*中密度繊維板の機能単位は1m<sup>3</sup>であるが、それ以外は1tである。



### (3) 構築したデータベースの LCA ソフトウェアへの実装方法の検討

#### 1) 実施内容

木材製品のユーザが製品等の CO<sub>2</sub> 排出量を評価する際、信頼性の高い木材製品の CO<sub>2</sub> 排出量データが必要となる。そこで、木材製品を供給するサプライチェーン上の各プロセスのデータとして丸太、乾燥材等の CO<sub>2</sub> 排出量を整理し、データベースとして公開する。また、ユーザへの認知度および利便性を向上させるため、我が国で広く利用されている LCA ソフトウェア MiLCA へ当該データを実装した。

また、学会等にて当該成果を発表し、基礎データとして信頼性向上に努めた。

#### a. LCA ソフトウェア MiLCA の概要

LCA ソフトウェア MiLCA は、LCA 実施を支援するソフトウェアであり、国立研究開発法人産業技術総合研究所と産業環境管理協会が共同開発した LCA データベース (IDEA) や日本版被害算定型影響評価手法 (LIME2) などを搭載することで、国内の実態に即した LCA が実施可能となっている。マウスによる直感的な操作で、製品システムをモデル化し、ケーススタディを実施可能であるため、企業・学術機関など約 300 以上の団体にて利用されている。開発・販売は一般社団法人産業環境管理協会が行っている。ソフトウェアの画面イメージを図に示した。

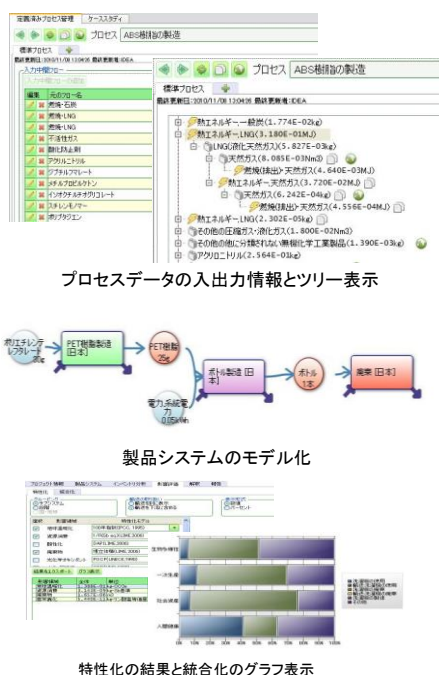


図 3-5 LCA ソフトウェア MiLCA の画面イメージ

## b. 搭載データベースの概要

LCA ソフトウェアには LCA データベース IDEA が搭載されている。IDEA は国立研究開発法人産業技術総合研究所と一般社団法人産業環境管理協会によって開発されたデータベースで、素材類を中心に約 3000 項目のデータが含まれている。しかし、当該データのみでは不足しているデータもあるため、第三者が追加データを登録することが可能となっている。登録するには、データ収集範囲、データ作成者等のデータの背景情報（メタ情報）を必ず明記しなければならない。また、データ提供者がデータに対する説明責任を持つ一方、データ利用に伴う責任はデータ利用者が持つようにしている。そのため、データ提供者はデータの妥当性について自らで確認し、データ作成方法等を明記するなど透明性を確保した上で登録する必要がある。

## 2) 実施結果

### a. LCA ソフトウェア MiLCA への実装

本調査の結果を実装した。

○データ項目：

- ・丸太：スギ、ヒノキ、カラマツ、トドマツの 4 項目  
(※都道府県別の数値は公開しない)

○実装結果（スギ丸太の例）

・プロセス入出力画面

プロセス 丸太 (スギ) の製造

最終プロセス

最終更新日：2016/03/08 20:25:05 最終更新者：sysadmin

入力中間フロー

入力中間フロー（原料・エネルギー等）の追加

編集	Global Id	IDEAコード	川上製プロセス	製品名	流量	単位	輸送手段	公開コメント	ローカルコメント	適合度	元の

入力基本フロー

入力基本フロー（直接投入資源）の追加

編集	Global Id	基本フロー名	カテゴリ1	カテゴリ2	カテゴリ3	流量	単位	公開コメント	ローカルコメント	適合度	元のフロー名

出力中間フロー

出力中間フロー（製品等）の追加

編集	IDEAコード	製品名	流量	単位	梱包装	輸送時梱包	取扱方法	参照数	公開コメント	ローカルコメント
	021111200	スギ	1.0000	m3	不明	不明	配分	0		

出力基本フロー

出力基本フロー（直接排出物質）の追加

編集	基本フロー名	カテゴリ1	カテゴリ2	カテゴリ3	流量	単位	公開コメント	ローカルコメント	適合度	元のフロー名
	CO2(化石資源由来)	排出物	大気	不特定	22.6000	kg			よい	CO2(化石資源由来)

・メタデータ（背景情報）

プロセス情報 ケーススタディ情報

プロセス 丸太（スギ）の製造

標準プロセス

最終更新日：2016/03/08 20:25:05 最終更新者：sysadmin 入力情報をエクセル出

拡張情報を表示

システム

UUID

プロセス名

チームUUID

タグ

初期作成日時

最終更新日時

公開コメント

技術

技術的特徴（処理法、規格、製法など）

品質

	1	2	3	4	5
信頼性の評価	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
完全性の評価	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
時間面での評価	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
地理面での評価	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
技術面での評価	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

プロセスレビューレベル

タイプ

プロセスレビューレベル	レビュータイプ	レビューレベル
<input checked="" type="checkbox"/>	MILCAライブラリ	<input type="text" value="提供者チェック済"/>

作成者

組織

部署

氏名

問い合わせ先

備考（著作権等）

なお、詳細なデータ作成方法は学術誌に投稿し、掲載決定後に当該情報を追記する。

## b. 学会発表等

丸太製造までの成果を第 11 回日本 LCA 学会研究発表会にて発表した。発表資料を参考資料として別添した。

### <参考文献>

- 大城温, 松下雅行, 並河良治, 大西博文「自動車走行時の燃料消費率と二酸化炭素排出係数」  
土木技術資料 43(11), 50-55(2001)
- 大和田拓馬, 長崎真由, 小出理博, 服部順昭「国産丸太の LCA による環境影響評価」第 7  
回日本 L C A 学会研究発表会講演要旨集, C-20(2012)
- 環境省「算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧」  
<http://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calc/itiran.pdf> (2015-3-3 閲覧) (2015)
- 国土交通省「平成 22 年度道路交通センサス一般交通量調査集計結果整理表」(2011)
- 古俣寛隆, 由田茂一, 加藤幸浩「カラマツ丸太生産における CO2 排出のインベントリ分析」  
日本 LCA 学会誌, 5(1), 131-137(2009)
- 埼玉県農林公社「造林事業標準歩掛表」(2013)
- 産業技術総合研究所, 産業環境管理協会「インベントリデータベース IDEA v.1.1」(2012)
- 森林総合研究所「収穫表作成システム LYCS 3.3」(2011 年 5 月版) 入手先<  
<http://www2.ffpri.affrc.go.jp/labs/LYCS/>>, (2015-3-3 閲覧)
- 鈴木秀典, 岡勝, 山口浩和, 陣川雅樹「路網開設に伴う二酸化炭素排出量の現状と今後」森  
林総合研究所研究報告, 9(4), 153-162(2010)
- 総務省統計局「平成 23 年度社会生活基本調査」(2011)
- 外岡豊, 高口洋人, 保井孝一, 前田拓生「国産天然素材木造住宅の LCA」エネルギー資源  
学会研究発表会講演論文集(2013)
- 南部佑輔, 伊香賀俊治, 本藤祐樹, 小林謙介, 恒次祐子「建築用木材の LCA データベース  
の構築」日本建築学会技術報告集, 18(38), 269-274
- 一重喬一郎, 長谷川隆大, 長谷川香織, 寺澤健治, 山中一憲, 服部順昭「国産丸太のライフ  
サイクルアセスメント事例」木材学会誌, 59(5), 269-277(2013)
- 広島県「平成 25 年度 森林整備業務 (歩掛公表分)」(2013)
- 御手洗佳枝, 伊藤英嗣, 服部順昭「木質バイオマスボイラーの LCA による環境影響評価」,  
第 62 回日本木材学会大会研究発表要旨集, Q15-P-PM06(2012)
- 山内一矢, 浅野良晴, 高村 秀紀「長野県北部におけるスギと長野県東部におけるカラマツ  
の CO2 排出量原単位及び木造住宅における CO2 排出量の算出 地場産材を使用した住宅における木材のライフサイクルアセスメントに関する基礎調査 その 1」  
日本建築学会環境系論文集, 74(645), 1261-1267(2009)
- 林野庁「平成 24 年度 森林・林業白書」(2013)
- 林野庁「平成 26 年 木材需給報告書」(2015)
- Berg, S., Karjalainen, T., 2003. Comparison of greenhouse gas emissions from forest operations in  
Finland and Sweden. *Forestry* 76, 271–284. doi:10.1093/forestry/76.3.271
- Dias, A.C., Arroja, L., 2012. Environmental impacts of eucalypt and maritime pine wood  
production in Portugal. *J. Clean. Prod.* 37, 368–376. doi:10.1016/j.jclepro.2012.07.056
- Engel, a. M., Wegener, J., Lange, M., 2012. Greenhouse gas emissions of two mechanised wood

- harvesting methods in comparison with the use of draft horses for logging. *Eur. J. For. Res.* 131, 1139–1149. doi:10.1007/s10342-011-0585-2
- Han, H.-S., Oneil, E., Bergman, R.D., Eastin, I.L., Johnson, L.R., 2015. Cradle-to-gate life cycle impacts of redwood forest resource harvesting in northern California. *J. Clean. Prod.* 99, 217–229. doi:10.1016/j.jclepro.2015.02.088
- Klein, D., Wolf, C., Schulz, C., Weber-Blaschke, G., 2015. 20 years of life cycle assessment (LCA) in the forestry sector: state of the art and a methodical proposal for the LCA of forest production. *Int. J. Life Cycle Assess.* 20, 556–575. doi:10.1007/s11367-015-0847-1
- Mirabella, N., Castellani, V., Sala, S., 2014. Forestry operations in the alpine context. Life cycle assessment to support the integrated assessment of forest wood short supply chain. *Int. J. Life Cycle Assess.* 19, 1524–1535. doi:10.1007/s11367-014-0756-8
- National Renewable Energy Laboratory (2015) U.S. Life Cycle Inventory Database. <http://www.nrel.gov/lci/>. Accessed 2 Mar 2016
- Timmermann, V., Dibdiakova, J., 2014. Greenhouse gas emissions from forestry in East Norway. *Int. J. Life Cycle Assess.* 19, 1593–1606. doi:10.1007/s11367-014-0773-7

### 3.1.2 大規模建築物に利用される木材の CO<sub>2</sub> 排出量に関する調査

#### (1) 調査対象

2020 年東京オリンピック・パラリンピックを見据え、今後は大規模施設等で木材が利用される機会が増えることが期待される。大規模施設の構造材・内装材として木材が利用される場合、耐火基準を満たすために不燃処理やメンブレン等の混構造が採用される他、近年は CLT のような大判パネルの利用も期待される。

このように大規模施設で利用される木材は多様であるが、MiLCA および日本建築学会が対応している木材関連の LCA インベントリデータは、「丸太」「製材」「普通合板」「防腐処理木材」等に限られており、大規模施設での木材利用拡大を見据えてさらなるデータの拡充が望まれる。そこで、大規模建築物等での利用が見込まれる木材「CLT」、「耐火集成材」を対象に LCA インベントリデータを収集・整理し、今後の木材利用事業者が活用可能な形で公表することを目指す。

#### (2) 調査概要

##### 1) CLT（銘建工業）

###### a. ケーススタディ事例①（欧州輸入ラミナを使用した CLT）

既往研究事例として、銘建工業が生産する CLT を対象に、慶應義塾大学伊香賀教授が平成 25 年度に実施した LCA 調査を取り上げた。

調査対象とした CLT のライフサイクルフローを下図に示す。

原料は欧州産のスプルースで、欧州で育林～伐採～乾燥～ラミナ加工をおこなった後、タンカーによる外洋輸送で広島県に到着、トラックにより岡山県まで輸送し、銘建工業の工場で集成（CLT）加工、最後に消費地である東京までトラックで輸送している。

なお、集成（CLT）加工する際に生じる木屑を用いて、①バイオマスボイラーによる発電（用途は、生産施設での自家消費および余剰電力の売電）、②ペレット製造、③排熱利用といったエネルギー利用をおこなっている。

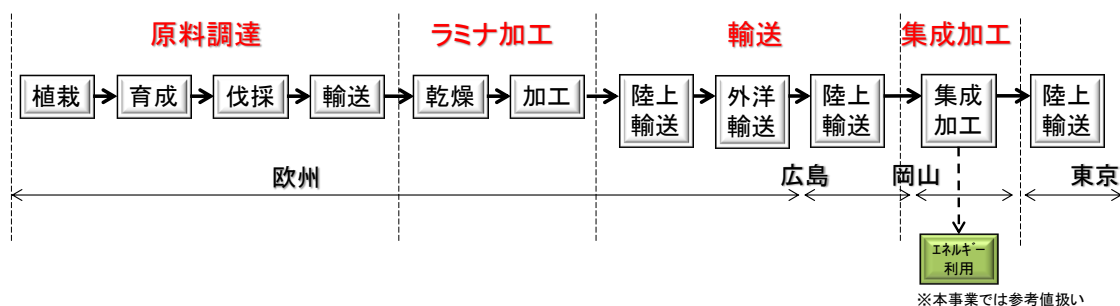


図 3-6 CLT のライフサイクルフロー

伊香賀研究室による試算の前提条件、および結果を下図表に示す。

表 3-30 試算方法および前提条件

プロセス	計算方法および前提条件
森林施業	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 伊香賀研究室による欧州調査結果に基づき、 <math>1.53 \times 10^{-2} \text{t-CO}_2\text{eq/m}^3</math></li> <li>・ これは国内 (<math>2.88 \times 10^{-2} \text{t-CO}_2\text{eq/m}^3</math>) と比較し小さい原単位であるが、欧州の調査対象地では勾配のない森林で高性能林業機械を導入した施業を実施しているためと考えられる。</li> </ul>
製造 (ラミナ加工・乾燥)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 伊香賀研究室による欧州調査結果に基づき、加工工程で <math>2.31 \times 10^{-2} \text{t-CO}_2\text{eq/m}^3</math>、乾燥工程で <math>9.81 \times 10^{-3} \text{t-CO}_2\text{eq/m}^3</math></li> <li>・ これは国内 (加工工程で <math>5.01 \times 10^{-2} \text{t-CO}_2\text{eq/m}^3</math>、乾燥工程で <math>8.04 \times 10^{-2} \text{t-CO}_2\text{eq/m}^3</math>) と比較し小さい原単位であるが、欧州の調査向上は大規模かつ木質バイオマス利用率の高い製材工場であるとのこと</li> </ul>
製造 (CLT 加工)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 銘建工業へのヒアリングにより各種原料・燃料等の消費量を把握。 CLT 及び集成材生産量：280,000 m<sup>3</sup>/年 木屑発生量：55,500t/年 うち発電使用：20,000t/年 (13GW/年) ペレット生産：19,000 t/年 蒸気利用：8,250 t/年 外販：8,250 t/年 接着剤購入量：2,000t/年 ※ヒアリングした段階では CLT 生産量が少なかったため、CLT 生産単体ではなく、集成材生産と合算した資材投入量に基づき算出。</li> </ul>
陸上輸送 (素材産出国内)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 伊香賀研究室による欧州調査結果に基づき、 <math>2.14 \times 10^{-2} \text{t-CO}_2\text{eq/m}^3</math></li> </ul>
外洋輸送	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ タンカーにより欧州から広島まで輸送</li> <li>・ 輸送距離にタンカーの燃費を乗じて算出</li> </ul>
陸上輸送 (日本国内)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 広島→岡山、岡山→東京へのトラック輸送</li> <li>・ 輸送距離にトラックの燃費を乗じて算出</li> </ul>

表 3-31 各種木材生産の CO<sub>2</sub> 排出原単位 (t-CO<sub>2</sub>eq/m<sup>3</sup>)

地域	製品	B率 (木質バイオマス燃料利用率) : 各産地の代表値							B率 : 100%	
		森林施業	製造 (加工)	製造 (乾燥)	陸上輸送 (海外)	船舶輸送	国内輸送	積発抽出	合計	合計
北米	製材	1.83×10 <sup>-3</sup>	1.99×10 <sup>-3</sup>	3.82×10 <sup>-2</sup>	1.27×10 <sup>-2</sup>	3.46×10 <sup>-2</sup>	6.67×10 <sup>-2</sup>	1.44×10 <sup>-2</sup>	1.45×10 <sup>-1</sup>	1.22×10 <sup>-1</sup>
	合板	1.83×10 <sup>-3</sup>	4.39×10 <sup>-3</sup>	3.81×10 <sup>-2</sup>	3.24×10 <sup>-2</sup>	2.71×10 <sup>-2</sup>	6.67×10 <sup>-2</sup>	7.16×10 <sup>-2</sup>	2.38×10 <sup>-1</sup>	2.23×10 <sup>-1</sup>
	集成材	1.83×10 <sup>-3</sup>	4.91×10 <sup>-3</sup>	3.28×10 <sup>-2</sup>	3.24×10 <sup>-2</sup>	2.71×10 <sup>-2</sup>	6.67×10 <sup>-2</sup>	7.16×10 <sup>-2</sup>	2.38×10 <sup>-1</sup>	1.46×10 <sup>-1</sup>
欧州	製材	1.53×10 <sup>-3</sup>	1.13×10 <sup>-3</sup>	1.55×10 <sup>-2</sup>	2.14×10 <sup>-2</sup>	8.09×10 <sup>-3</sup>	6.16×10 <sup>-2</sup>	1.33×10 <sup>-2</sup>	1.64×10 <sup>-1</sup>	1.57×10 <sup>-1</sup>
	合板	1.53×10 <sup>-3</sup>	4.00×10 <sup>-3</sup>	9.81×10 <sup>-3</sup>	2.14×10 <sup>-2</sup>	8.28×10 <sup>-3</sup>	6.16×10 <sup>-2</sup>	6.61×10 <sup>-3</sup>	2.42×10 <sup>-1</sup>	2.38×10 <sup>-1</sup>
	集成材	1.53×10 <sup>-3</sup>	2.31×10 <sup>-3</sup>	9.81×10 <sup>-3</sup>	2.14×10 <sup>-2</sup>	8.28×10 <sup>-3</sup>	6.16×10 <sup>-2</sup>	6.61×10 <sup>-3</sup>	2.25×10 <sup>-1</sup>	1.55×10 <sup>-1</sup>
ロシア	製材	8.94×10 <sup>-4</sup>	2.14×10 <sup>-3</sup>	8.99×10 <sup>-3</sup>	2.28×10 <sup>-2</sup>	7.83×10 <sup>-3</sup>	7.27×10 <sup>-2</sup>	1.57×10 <sup>-2</sup>	3.79×10 <sup>-1</sup>	3.06×10 <sup>-1</sup>
	合板	8.94×10 <sup>-4</sup>	4.72×10 <sup>-3</sup>	1.10×10 <sup>-1</sup>	2.90×10 <sup>-1</sup>	7.80×10 <sup>-3</sup>	7.27×10 <sup>-2</sup>	7.80×10 <sup>-3</sup>	5.50×10 <sup>-1</sup>	4.65×10 <sup>-1</sup>
	集成材	8.94×10 <sup>-4</sup>	5.27×10 <sup>-3</sup>	8.57×10 <sup>-3</sup>	2.90×10 <sup>-1</sup>	7.80×10 <sup>-3</sup>	7.27×10 <sup>-2</sup>	7.80×10 <sup>-3</sup>	5.31×10 <sup>-1</sup>	3.80×10 <sup>-1</sup>
南洋	製材	9.59×10 <sup>-4</sup>	3.32×10 <sup>-3</sup>	9.74×10 <sup>-3</sup>	1.50×10 <sup>-2</sup>	2.43×10 <sup>-2</sup>	7.88×10 <sup>-2</sup>	1.70×10 <sup>-2</sup>	1.94×10 <sup>-1</sup>	1.15×10 <sup>-1</sup>
	合板	9.59×10 <sup>-4</sup>	5.11×10 <sup>-3</sup>	1.20×10 <sup>-1</sup>	1.50×10 <sup>-2</sup>	2.22×10 <sup>-2</sup>	7.88×10 <sup>-2</sup>	8.46×10 <sup>-2</sup>	3.10×10 <sup>-1</sup>	2.18×10 <sup>-1</sup>
	集成材	9.59×10 <sup>-4</sup>	5.71×10 <sup>-3</sup>	9.29×10 <sup>-2</sup>	1.50×10 <sup>-2</sup>	2.22×10 <sup>-2</sup>	7.88×10 <sup>-2</sup>	8.46×10 <sup>-2</sup>	2.89×10 <sup>-1</sup>	1.26×10 <sup>-1</sup>
NZ	製材	1.14×10 <sup>-3</sup>	1.37×10 <sup>-3</sup>	3.59×10 <sup>-2</sup>	7.11×10 <sup>-2</sup>	5.74×10 <sup>-2</sup>	9.31×10 <sup>-2</sup>	2.01×10 <sup>-2</sup>	2.19×10 <sup>-1</sup>	1.95×10 <sup>-1</sup>
	合板	1.14×10 <sup>-3</sup>	3.43×10 <sup>-3</sup>	4.48×10 <sup>-2</sup>	7.11×10 <sup>-2</sup>	5.68×10 <sup>-2</sup>	9.31×10 <sup>-2</sup>	1.00×10 <sup>-1</sup>	3.28×10 <sup>-1</sup>	3.00×10 <sup>-1</sup>
	集成材	1.14×10 <sup>-3</sup>	3.42×10 <sup>-3</sup>	3.39×10 <sup>-2</sup>	7.11×10 <sup>-2</sup>	5.68×10 <sup>-2</sup>	9.31×10 <sup>-2</sup>	1.00×10 <sup>-1</sup>	3.17×10 <sup>-1</sup>	1.93×10 <sup>-1</sup>
チリ	製材	1.06×10 <sup>-3</sup>	2.47×10 <sup>-3</sup>	1.04×10 <sup>-1</sup>	6.41×10 <sup>-2</sup>	8.59×10 <sup>-2</sup>	8.40×10 <sup>-2</sup>	1.81×10 <sup>-2</sup>	3.16×10 <sup>-1</sup>	2.31×10 <sup>-1</sup>
	合板	1.06×10 <sup>-3</sup>	5.45×10 <sup>-3</sup>	1.28×10 <sup>-1</sup>	6.41×10 <sup>-2</sup>	8.47×10 <sup>-2</sup>	8.40×10 <sup>-2</sup>	9.01×10 <sup>-2</sup>	4.40×10 <sup>-1</sup>	3.41×10 <sup>-1</sup>
	集成材	1.06×10 <sup>-3</sup>	6.08×10 <sup>-3</sup>	9.90×10 <sup>-2</sup>	6.41×10 <sup>-2</sup>	8.47×10 <sup>-2</sup>	8.40×10 <sup>-2</sup>	9.01×10 <sup>-2</sup>	4.18×10 <sup>-1</sup>	2.44×10 <sup>-1</sup>
日本	製材	2.88×10 <sup>-3</sup>	2.69×10 <sup>-3</sup>	8.11×10 <sup>-3</sup>	0.00	0.00	1.36×10 <sup>-2</sup>	1.47×10 <sup>-2</sup>	1.65×10 <sup>-1</sup>	1.10×10 <sup>-1</sup>
	合板	2.88×10 <sup>-3</sup>	4.48×10 <sup>-3</sup>	1.04×10 <sup>-1</sup>	0.00	0.00	1.36×10 <sup>-2</sup>	7.31×10 <sup>-2</sup>	2.64×10 <sup>-1</sup>	1.84×10 <sup>-1</sup>
	集成材	2.88×10 <sup>-3</sup>	5.01×10 <sup>-3</sup>	8.04×10 <sup>-2</sup>	0.00	0.00	1.36×10 <sup>-2</sup>	7.31×10 <sup>-2</sup>	2.46×10 <sup>-1</sup>	1.78×10 <sup>-1</sup>

※木質バイオマス燃料利用率の欧州代表値：90%、日本代表値：41%

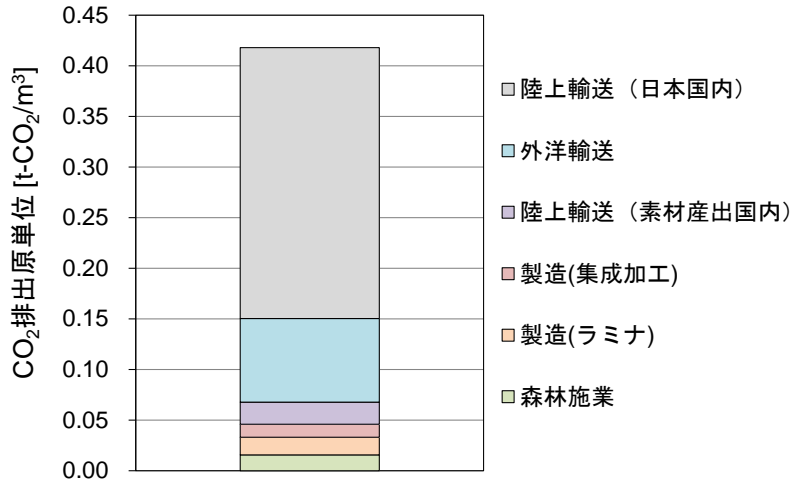
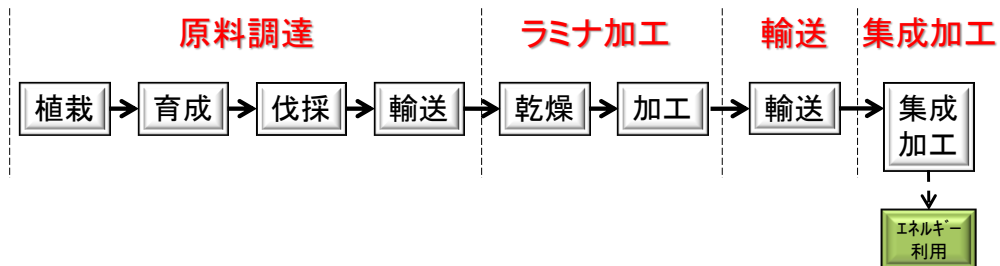


図 3-7 欧州産材を利用した CLT 製造における CO<sub>2</sub> 排出原単位の試算結果

b. ケーススタディ事例② (国産スギを使用した CLT)

国産スギを使用した CLT の生産プロセスを以下に示す。集成 (CLT) 加工プロセスは、銘建工業における CLT 製造装置の調査を通じて実態把握した。



※本事業では参考値扱い

図 3-8 国産スギを使用した CLT のライフサイクルプロセス



表 3-32 試算方法および前提条件

プロセス	計算方法および前提条件
原料調達（丸太生産）	<ul style="list-style-type: none"> <li>スギの森林施業・伐採・加工に係る CO<sub>2</sub> 排出原単位（全国平均、p.21）を用いた。</li> </ul>
ラミナ加工	<ul style="list-style-type: none"> <li>銘建工業におけるラミナ加工の調査を基にした古俣委員による分析結果を用いた。 ラミナ乾燥の熱源：①化石燃料、②木屑 輸送距離：100km 輸送時の積載率：80%</li> </ul>
集成（CLT）加工	<ul style="list-style-type: none"> <li>銘建工業における CLT 製造装置（接着剤塗布・積層・コールドプレス）の調査に基づき CO<sub>2</sub> 排出原単位を算出した。</li> <li>CLT 製造 生産量：1 シフト 7,600 m<sup>3</sup>/年 CLT 製造歩留り：60～75% 接着剤：水性高分子イソシアネート（API）</li> <li>部材製造 消費電力量：定格出力×実働負荷率×稼働時間 接着剤塗布量：200g/m<sup>2</sup></li> </ul>

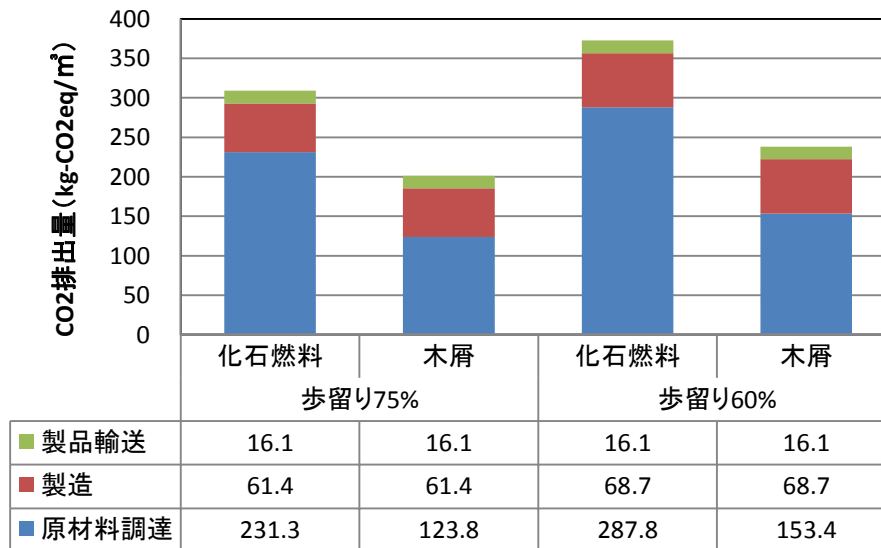


図 3-9 国産スギ材を利用した CLT 製造における CO<sub>2</sub> 排出原単位の試算結果

## 2) FR ウッド（鹿島建設、東京農工大学、森林総合研究所、ティー・イー・コンサルティング）

鹿島建設等が開発したFR ウッドは、荷重支持部の周囲に難燃薬剤を注入した難燃処理層を配置することにより耐火性能を確保した構造用耐火集成材である。

東京農工大学大林、森田、安藤、服部らはFR ウッドを対象としたLCAを実施し、耐火集成材を用いた木造建築物と、同一機能を持たせたS造、RC造の建築物の環境影響評価（社会コスト試算）を実施した。結果の概要を次頁に示す。

※ 構造用耐火集成材のGHG排出量については企業の内部データとなっており、非公表である。

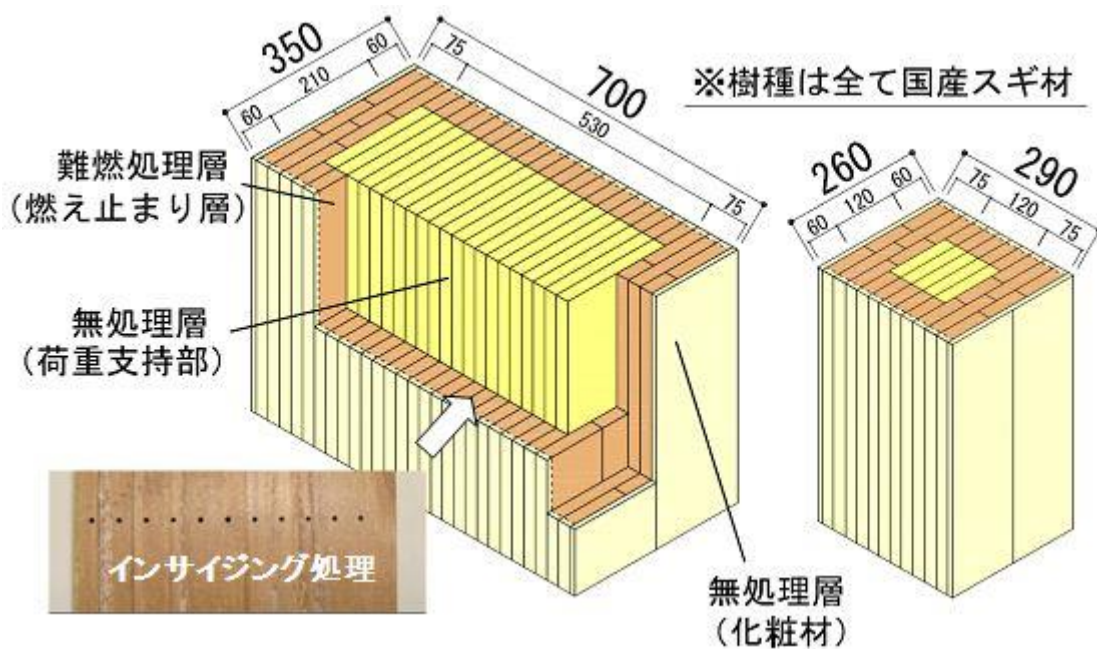


図 3-10 FR ウッドの概要

第61回日本木材学会大会 (京都)

Q19-P-AM07

構造用耐火集成材の環境影響評価

(東京農工大学)○大林 秀稔、森田 雅、安藤 恵介、服部 順昭、(森林総研)上川 大輔、原田 寿郎、  
(ティー・イー・コンサルティング)宮林 正幸、(鹿島建設株)抱 憲誓、西村 光太、宮本 圭一

研究概要

当研究グループにより開発されたスギのみを用いた構造用耐火集成材が、地球に優しいかをライフサイクルアセスメントにより評価した。また、耐火集成材を用いた建築物モデルを設計し、このモデルの主要構造部材と、鉄骨造、RC 造で設計した同仕様のモデルの主要構造部材を比較した。耐火集成材 1 m<sup>3</sup>あたりの環境影響を求めた結果、耐火集成材を用いた建築物モデルは、鉄骨造、RC 造のモデルに比べて環境影響が低いことがわかった。

【緒言】

当研究グループでは、鋼材や高密度外材を用いずに、スギ集成材の外側を難燃薬剤を注入したラミナで覆うことで燃え止まり層を設けた構造用耐火集成材を開発した<sup>1)</sup>。

この耐火集成材が他の材料と比べて地球に優しいかを、各構造材で同仕様の耐火建築物モデルを設計し、これらの主要構造部材製造までの環境影響をライフサイクルアセスメント(LCA という)を用いて評価した。

【方法】

まず、構造用耐火集成材の原単位を求めた。評価対象製品は、スギ集成材を用いた構造用耐火集成材とし、基準単位は 1 m<sup>3</sup>とした。この耐火集成材は製品化されていないため、図 1 のようなシナリオを設定した。耐火集成材の使用および廃棄は多様なため、本調査では評価しない。原単位は、JEMAI-LCA Pro Ver. 2.1.2 のデータベース<sup>2)</sup>、国土交通省交通関連統計資料集<sup>3)</sup>より収集した。レーザインサイジングプロセスのデータはレーザー(ROFIN DC 025)の消費電力より求めた。難燃薬剤製造までの原単位は見当たらないので、その主要成分であるリン酸とアンモニウムの原単位から作成した。影響評価手法には、環境影響を社会コストとして日本円で示せるツールである Life-cycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling<sup>2)</sup>(LIME2)を用い、評価対象の影響領域は、資源消費、地球温暖化、酸性化、都市域大気汚染、光化学オキシダント、有害化学物質、生態毒性、廃棄物とした。

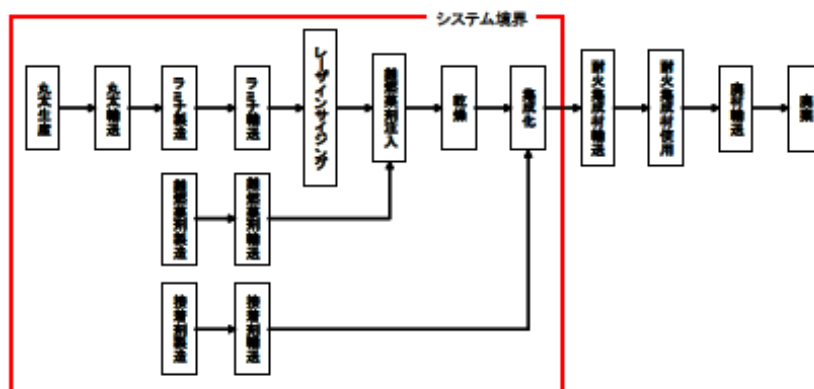


図 1 耐火集成材のシステム境界

続いて、耐火集成材造、鉄骨造、RC 造で一時間耐火性能を持った同仕様の建築物モデルを設計し、各モデルの主要構造部材製造までの社会コストを比較した。これらの社会コストを求めた

め、原単位には構造用耐火集成材の LCA で用いたものに加え、セメントの LCI データの概要<sup>5)</sup>と首都圏に流入するコンクリート用骨材の需給動向調査と輸送時環境負荷評価<sup>6)</sup>を用いた。影響評価手法と影響評価領域は、耐火集成材の LCA で用いたものと同じ方法で行った。

#### 【結果および考察】

スギ集成材を用いた構造用耐火集成材 1 m<sup>3</sup>あたりの社会コストは 1,485 円となった。

耐火集成材を用いた建築物モデルと鉄骨造建築物モデル、RC 造建築物モデルの主要構造部材製造までの社会コストを求めたところ、それぞれ一棟当たり 1,860,000 円、2,850,000 円、3,170,000 円となり、耐火集成材を用いた建築物は、それ以外の耐火構造建築物よりも環境に優しいことが明らかになった。また、集成材は炭素ストックを有するので、耐火集成材を用いた建築物は更に環境に優しいことになる。

#### 【謝辞】

本評価は、農林水産省「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業(課題番号 2009)」により実施した。ここに謝意を表します。

#### 【参考文献】

- 1)西村光太、大内富夫、宮本圭一、服部順昭、安藤恵介、嶋根純一、石垣弘之、原田寿郎、上川大輔、宮林正幸：“耐火集成材の開発：(その 5)ラミナの部分的薬剤処理により作成した耐火集成材の載荷加熱実験”、2008 年度建築学会関東支部研究報告集、525-528 (2008)
- 2)(社)産業環境管理協会：“JEMAI-LCA Pro Ver. 2.1.2”
- 3)国土交通省：“交通関連統計資料集 1-2-9 自動車貨物距離帯別・品目別輸送量および平均輸送キロ”、<http://www.mlit.go.jp/k-toukei/search/pdf/23/23000000x01209.pdf>、2010 年 1 月 12 日、1-2 (2009)
- 4)(社)産業環境管理協会：“Life-cycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling 2”
- 5)(社)日本セメント協会：“セメントの LCI データの概要”、[http://www.jcassoc.or.jp/cement/4pdf/jgli\\_01.pdf](http://www.jcassoc.or.jp/cement/4pdf/jgli_01.pdf)、2010 年 11 月 12 日、2-7 (2010)
- 6) 田村雅紀、安部道彦：“首都圏に流入するコンクリート用骨材の需給動向調査と輸送時環境負荷評価” 日本建築学会 第 15 巻 第 31 号、631-634 (2009)

### 3.1.3 木造建築物・木材製品のCO2排出量に関する調査

一般的な(1)建築物、(2)内装材・建具、(3)家具等を想定し、それらと同等のものを木材で提供する場合を想定して省CO2効果の評価を実施。各種条件(断熱性能、強度、耐用年数等)の設定を行う。排出原単位については(1)～(3)を通じて共通の考え方・データを適用する。

既存の木材利用技術を基本としつつ、今後木材での代替可能性がありうる建築・木材製品を整理し、評価の対象を選定する。なお、今後の技術については今年度すべてを評価対象とするものではなく、次年度以降の調査の可能性(論点整理等)を提示することも目的とする。

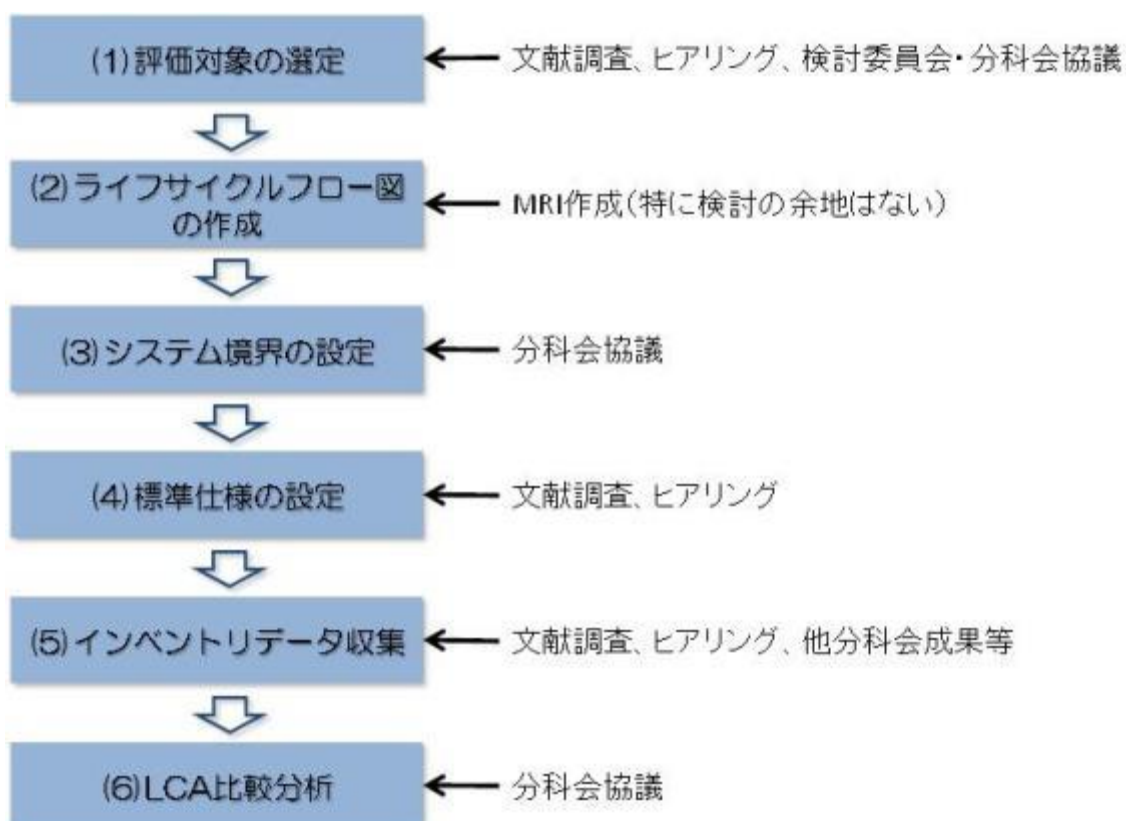


図 3-11 建築・木材製品に関する木材利用のLCA分析フロー

## (1) 建築物

### 1) 戸建住宅

#### a. 基本方針

##### ア) 建築物のライフサイクルにおける各過程の位置づけ

建築物におけるライフサイクルとは、資材製造・建設・運用・改修・廃棄の過程をすべて含んだものであり、本調査ではそれぞれの過程における CO<sub>2</sub> 排出量を算出し、積み上げることでLCCO<sub>2</sub>を明らかにした。図1にライフサイクルにおける各過程の位置づけを示す。

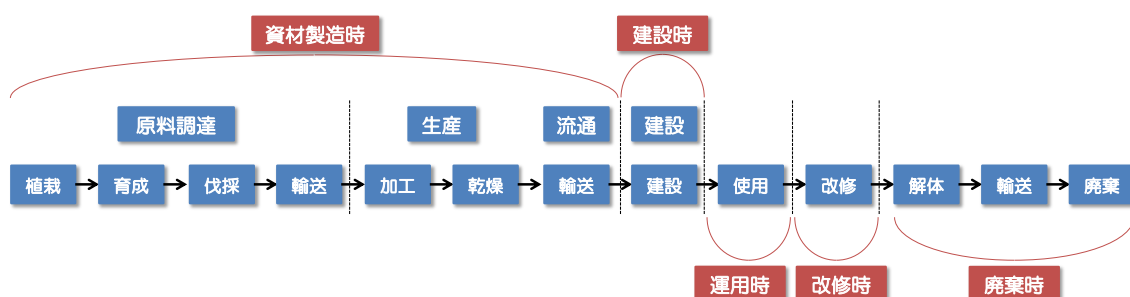


図 3-12 ライフサイクルにおける各過程の位置づけ

##### イ) 本調査における建築物の寿命について

建築物の LCCO<sub>2</sub> を明らかにするためには、建築物の寿命を設定しなければならない。そこで、以下の 4 点の寿命設定方法が考えられる。①国土交通省が算出した減失住宅の平均築後年数 30 年<sup>1)</sup>を寿命とする。②建築物の法定耐用年数を寿命とする、③「長期優良住宅の普及の促進に関する法律」の中で推奨されている 100 年を寿命とする、④小松の論文<sup>2)</sup>で推計された 60 年を寿命とする。

現在、①は建築物の寿命として一般的に理解されているが、減失住宅の平均築後年数とは取り壊された住宅の平均築年数であり、新規住宅の寿命とは言い難い。よって、本調査における建築物の寿命として設定するうえでは不適切だと考えられる。②に関して、建築物の法定耐用年数とは固定資産税を算定するために作られた政策的なものであり、実証を反映しているとは言い難く、この方法も本調査においては不適切であると考えられる。③は、物理的な住宅の性能を 100 年以上維持することを前提としているが、実際にはそれ以前に除却される住宅が多いと考えられる。④に関して、小松は「建物の寿命推計に関する研究」において、人間の平均寿命推計を建築物に応用し、建築物の寿命を統計的に推計しており、現時点においては最も正確に建築物の寿命を推計していると考えられる。この論文において、建築物の寿命は約 60 年と推計されているが、LCCO<sub>2</sub> の算出においては、15

年、30年スパンで改修工事がなされるため、60年という数字は改修時のCO<sub>2</sub>排出量を算出するうえでも、適切であると考えられる。

よって、本調査においては小松の論文で推計された値を採用し、建築物の寿命を60年と設定する。

#### ウ) CO<sub>2</sub>排出原単位の定義について

本調査で使用しているCO<sub>2</sub>排出原単位は特記なき限りすべて日本建築学会が編集・発行しているLCAデータベース<sup>3)</sup>の数値を引用しており、生産段階における国内消費支出、国内資本形成、海外消費支出、海外資本形成、流通段階における国内消費支出、国内資本形成、海外消費支出、海外資本形成の8つの要素全てを合計したものである。

#### エ) 各建築物の仕様について

本調査では、木造(多用)、木造(一般)、RC造、S造、4種類のLCCO<sub>2</sub>の算出している。木造(多用)、RC造、S造に関しては、Y邸の図面を参考にし、木造(一般)に関しては、次世代省エネ基準の仕様規定を参考にすることで仕様を決定した。また、すべての建築物において断熱性能は平成25年度改定省エネ基準における基準値としている。表2に木造(多用)、木造(一般)の仕様とCO<sub>2</sub>排出原単位を、表3にS造、RC造の仕様とCO<sub>2</sub>排出原単位を示す。各建築物の仕様の詳細、部材使用量については別途資料に記している。

また、木造が2種類存在するが、木造(多用)の木材使用量は34.2m<sup>3</sup>、木造(一般)の木材使用量は21.7m<sup>3</sup>であり、木造(多用)の木材使用量が木造(一般)の1.58倍となっている。

表 3-33 木造（多用）、木造（一般）の仕様と CO2 排出原単位

木造(多用)			木造(一般)		
部位	構成材(単位:mm)	CO <sub>2</sub> 排出原単位名称	部位	構成材(単位:mm)	CO <sub>2</sub> 排出原単位名称
外壁	不燃木材 t10	製材	外壁	窯業系サイディング t14	その他の窯業・土石製品
	横胴縁 24×45 @455	製材		横胴縁 24×45 @455	製材
	窯業系サイディング t14	その他の窯業・土石製品		透湿防水シート t0.2	プラスチックフィルム・シート
	透湿防水シート t0.2	プラスチックフィルム・シート		縦胴縁 24×45 @455	製材
	縦胴縁 24×45 @455	製材		透湿防水シート t0.2	プラスチックフィルム・シート
	透湿防水シート t0.2	プラスチックフィルム・シート		グラスウール t100	ガラス繊維・同製品
	ウッドファイバー t90	ウッドファイバーブローイン <sup>※1</sup>		PB t12.5	その他の建設用土石製品
PB t12.5	その他の建設用土石製品	ビニルクロス t0.5	プラスチックフィルム・シート		
杉板貼り t10	製材				
内壁	杉板貼り t10	製材	内壁	ビニルクロス t0.5	プラスチックフィルム・シート
	PB t12.5	その他の建設用土石製品		PB t12.5	その他の建設用土石製品
	通気層 t120			通気層 t120	
	PB t12.5	その他の建設用土石製品		PB t12.5	その他の建設用土石製品
杉板貼り t10	製材	ビニルクロス t0.5	プラスチックフィルム・シート		
屋根	ガルバリウム鋼板 t0.4	亜鉛めっき鋼材 <sup>※2</sup>	屋根	ガルバリウム鋼板 t0.4	亜鉛めっき鋼材 <sup>※2</sup>
	ルーフィング t0.67	プラスチックフィルム・シート		ルーフィング t0.67	プラスチックフィルム・シート
	通気垂木 24×45 @303	製材		通気垂木 24×45 @303	製材
	ルーフィング t0.67	プラスチックフィルム・シート		ルーフィング t0.67	プラスチックフィルム・シート
	杉パネル t12	製材		杉パネル t12	製材
	ウッドファイバー t100	ウッドファイバーブローイン <sup>※1</sup>		グラスウール t100	ガラス繊維・同製品
	垂木 45×105 @910	製材		垂木 45×105 @910	製材
杉板貼り t12	製材	合板 t12	普通合板 <sup>※2</sup>		
1階床	無垢フローリング t15	製材	1階床	合板フローリング t15	普通合板 <sup>※2</sup>
	ウッドファイバー t60	ウッドファイバーブローイン <sup>※1</sup>		グラスウール t60	ガラス繊維・同製品
	根太 60×60 @303	製材		根太 60×60 @303	製材
無垢下地板 t12	製材	合板下地板 t12	普通合板 <sup>※2</sup>		
2階床	無垢フローリング t15	製材	2階床	合板フローリング t15	普通合板 <sup>※2</sup>
	根太 45×36 @303	製材		根太 45×36 @303	製材
	落とし込み板 t40	製材		落とし込み合板 t24	普通合板 <sup>※2</sup>
	吊木 30×40 @910	製材		吊木 30×40 @910	製材
	野縁(野縁受け) 30×40 @455	製材		野縁(野縁受け) 30×40 @455	製材
	PB t9	その他の建設用土石製品		PB t9	その他の建設用土石製品
快適クロス(和紙) t0.1	洋紙・和紙	ビニルクロス t0.5	プラスチックフィルム・シート		
2階天井	落とし込み板 t40	製材	2階天井	落とし込み合板 t24	普通合板 <sup>※2</sup>
	吊木 30×40 @910	製材		吊木 30×40 @910	製材
	野縁(野縁受け) 30×40 @455	製材		野縁(野縁受け) 30×40 @455	製材
	PB t9	その他の建設用土石製品		PB t9	その他の建設用土石製品
快適クロス(和紙) t0.1	洋紙・和紙	ビニルクロス t0.5	プラスチックフィルム・シート		
基礎	スラブコンクリート	生コンクリート	基礎	スラブコンクリート	生コンクリート
	捨てコンクリート	生コンクリート		捨てコンクリート	生コンクリート
	鉄筋	普通鋼小棒		鉄筋	普通鋼小棒
躯体	鋼製束	普通鋼小棒	躯体	鋼製束	普通鋼小棒
	柱、梁、筋交	製材		柱、梁、筋交	製材
設備	ユニットバス	ユニットバス	設備	ユニットバス	ユニットバス
	キッチンカウンター	キッチンカウンター		キッチンカウンター	キッチンカウンター
	洗面化粧台	洗面化粧台		洗面化粧台	洗面化粧台
	洋式便器	洋式便器		洋式便器	洋式便器
	給水管	プラスチック板・管・棒		給水管	プラスチック板・管・棒
	排水管	プラスチック板・管・棒		排水管	プラスチック板・管・棒
	給湯管	伸銅管		給湯管	伸銅管
	ケーブル	電線・ケーブル		ケーブル	電線・ケーブル
窓	ガラス	板ガラス	窓	ガラス	板ガラス
扉	玄関扉	アルミ圧延製品	扉	玄関扉	アルミ圧延製品
	勝手口	アルミ圧延製品		勝手口	アルミ圧延製品
	室内扉	木製建具		室内扉	木製建具

※1 株式会社木の繊維算出 CO<sub>2</sub> 排出原単位

※2 日本建築学会の原単位から算出（細分化）した CO<sub>2</sub> 排出原単位



表 3-34 S造、RC造の仕様とCO<sub>2</sub>排出原単位

S造			RC造		
部位	構成材(単位:mm)	CO <sub>2</sub> 排出原単位名称	部位	構成材(単位:mm)	CO <sub>2</sub> 排出原単位名称
外壁	窯業系サイディング t14	その他の窯業・土石製品	外壁	窯業系サイディング t14	その他の窯業・土石製品
	横胴縁 24×45 @455	製材		横胴縁 24×45 @455	製材
	透湿防水シート t0.2	プラスチックフィルム・シート		透湿防水シート t0.2	プラスチックフィルム・シート
	縦胴縁 24×45 @455	製材		縦胴縁 24×45 @455	製材
	透湿防水シート t0.2	プラスチックフィルム・シート		透湿防水シート t0.2	プラスチックフィルム・シート
	グラスウール t100	ガラス繊維・同製品		グラスウール t120	ガラス繊維・同製品
内壁	PB t12.5	その他の建設用土石製品	内壁	RC t180	生コンクリート・普通鋼小棒
	ビニルクロス t0.5	プラスチックフィルム・シート		ドロマイトプラスター t0.1	その他の建設用土石製品
	ビニルクロス t0.5	プラスチックフィルム・シート		ドロマイトプラスター t0.1	その他の建設用土石製品
	PB t12.5	その他の建設用土石製品		PB t12.5	その他の建設用土石製品
	通気層 t60			通気層 t60	
	PB t12.5	その他の建設用土石製品		PB t12.5	その他の建設用土石製品
屋根	ガルバリウム鋼板 t0.4	亜鉛めっき鋼材 <sup>※2</sup>	屋根	ガルバリウム鋼板 t0.4	亜鉛めっき鋼材 <sup>※2</sup>
	ルーフィング t0.67	プラスチックフィルム・シート		ルーフィング t0.67	プラスチックフィルム・シート
	野地板 t12	製材		野地板 t12	製材
	通気垂木 24×45 @303	製材		通気垂木 45×45 @303	製材
	ルーフィング t0.67	プラスチックフィルム・シート		ルーフィング t0.67	プラスチックフィルム・シート
	杉パネル t12	製材		グラスウール t70	ガラス繊維・同製品
	グラスウール t100	ガラス繊維・同製品		母屋 70×70 @910	製材
	垂木 45×105 @910	製材		RC t150	生コンクリート・普通鋼小棒
	PB t9	その他の建設用土石製品		吊ボルト φ9 h225 @910	普通鋼小棒
	1階床	合板フローリング t15		普通合板 <sup>※2</sup>	1階床
グラスウール t60		ガラス繊維・同製品	野縁受け 24×19×0.5 @303	亜鉛めっき鋼材 <sup>※2</sup>	
根太 45×60 @303		製材	PB t9	その他の建設用土石製品	
合板フローリング t15		普通合板 <sup>※2</sup>	ビニルクロス t0.5	プラスチックフィルム・シート	
根太 45×60 @303		製材	合板フローリング t15	普通合板 <sup>※2</sup>	
メッシュ D10 @200 縦横共		普通鋼小棒	グラスウール t90	ガラス繊維・同製品	
2階床	RC t60	生コンクリート	2階床	根太 45×60 @303	製材
	デッキプレート QL-99-75-1.2	亜鉛めっき鋼材 <sup>※2</sup>		合板フローリング t15	普通合板 <sup>※2</sup>
	吊ボルト φ9 h225 @910	普通鋼小棒		根太 45×60 @303	製材
	野縁 38×12×1.2 @910	亜鉛めっき鋼材 <sup>※2</sup>		RC t150	生コンクリート・普通鋼小棒
	野縁受け 24×19×0.5 @303	亜鉛めっき鋼材 <sup>※2</sup>		吊ボルト φ9 h225 @910	普通鋼小棒
	PB t9	その他の建設用土石製品		野縁 38×12×1.2 @910	亜鉛めっき鋼材 <sup>※2</sup>
2階天井	メッシュ D10 @200 縦横共	普通鋼小棒	基礎	野縁受け 24×19×0.5 @303	亜鉛めっき鋼材 <sup>※2</sup>
	RC t60	生コンクリート		PB t9	その他の建設用土石製品
	デッキプレート QL-99-75-1.2	亜鉛めっき鋼材 <sup>※2</sup>		ビニルクロス t0.5	プラスチックフィルム・シート
	吊ボルト φ9 h225 @910	普通鋼小棒		スラブコンクリート	生コンクリート
	野縁 38×12×1.2 @910	亜鉛めっき鋼材 <sup>※2</sup>		捨てコンクリート	生コンクリート
	野縁受け 24×19×0.5 @303	亜鉛めっき鋼材 <sup>※2</sup>		鉄筋	普通鋼小棒
基礎	PB t9	その他の建設用土石製品	躯体	鋼製束	普通鋼小棒
	ビニルクロス t0.5	プラスチックフィルム・シート		柱、梁	生コンクリート・普通鋼小棒
	スラブコンクリート	生コンクリート		ユニットバス	ユニットバス
	捨てコンクリート	生コンクリート		キッチンカウンター	キッチンカウンター
	鉄筋	普通鋼小棒		洗面化粧台	洗面化粧台
	鋼製束	普通鋼小棒		洋式便器	洋式便器
躯体	柱、梁	亜鉛めっき鋼材 <sup>※2</sup>	設備	給水管	プラスチック板・管・棒
	ユニットバス	ユニットバス		排水管	プラスチック板・管・棒
	キッチンカウンター	キッチンカウンター		給湯管	伸銅管
	洗面化粧台	洗面化粧台		ケーブル	電線・ケーブル
	洋式便器	洋式便器		ガラス	板ガラス
	給水管	プラスチック板・管・棒		玄関扉	アルミ圧延製品
設備	排水管	プラスチック板・管・棒	扉	勝手口	アルミ圧延製品
	給湯管	伸銅管		室内扉	木製建具
	ケーブル	電線・ケーブル			
	ガラス	板ガラス			
	玄関扉	アルミ圧延製品			
	勝手口	アルミ圧延製品			
扉	室内扉	木製建具			

※1 株式会社木の繊維算出 CO<sub>2</sub> 排出原単位

※2 日本建築学会の原単位から算出（細分化）した CO<sub>2</sub> 排出原単位

オ) モデル住宅概要

本調査における住宅の間取りは日本建築学会標準住宅モデル<sup>4)</sup>を基準とする。図 3-13 に日本建築学会標準住宅モデル(木造)平面図を、図 3-14 に日本建築学会標準住宅モデル(木造)断面図・立面図、図 3-15 に日本建築学会標準住宅モデル(RC造)断面図を示す。

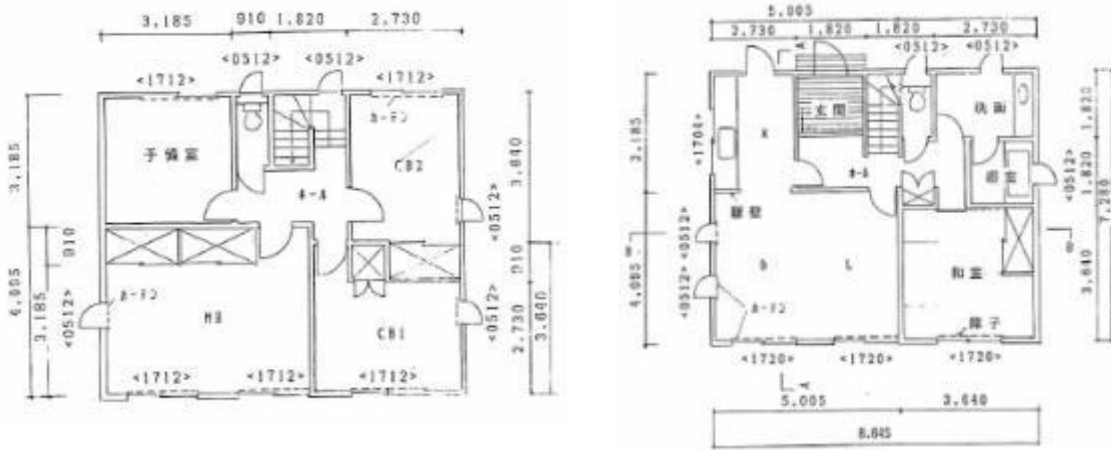


図 3-13 日本建築学会標準住宅モデル(木造)平面図

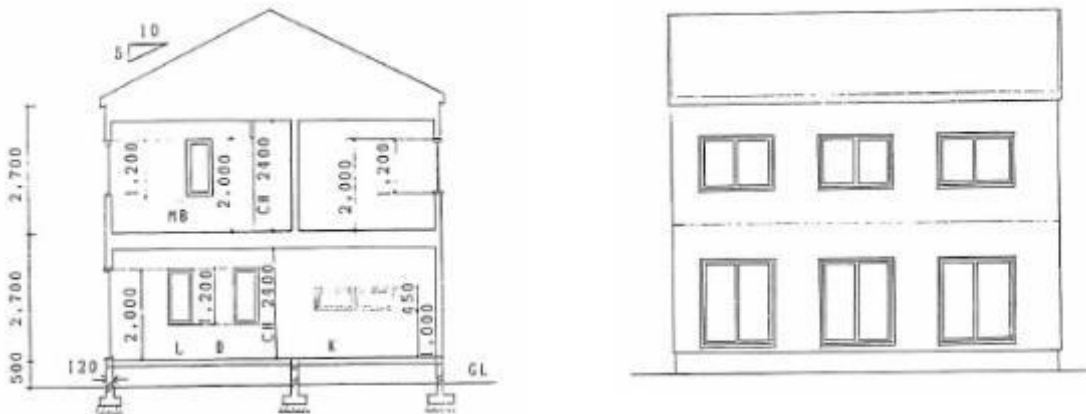


図 3-14 日本建築学会標準住宅モデル(木造)断面図・立面図

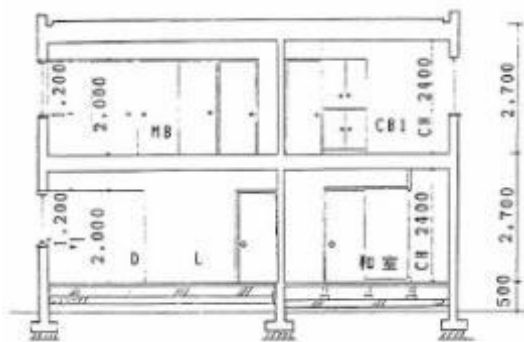


図 3-15 日本建築学会標準住宅モデル(RC造)断面図

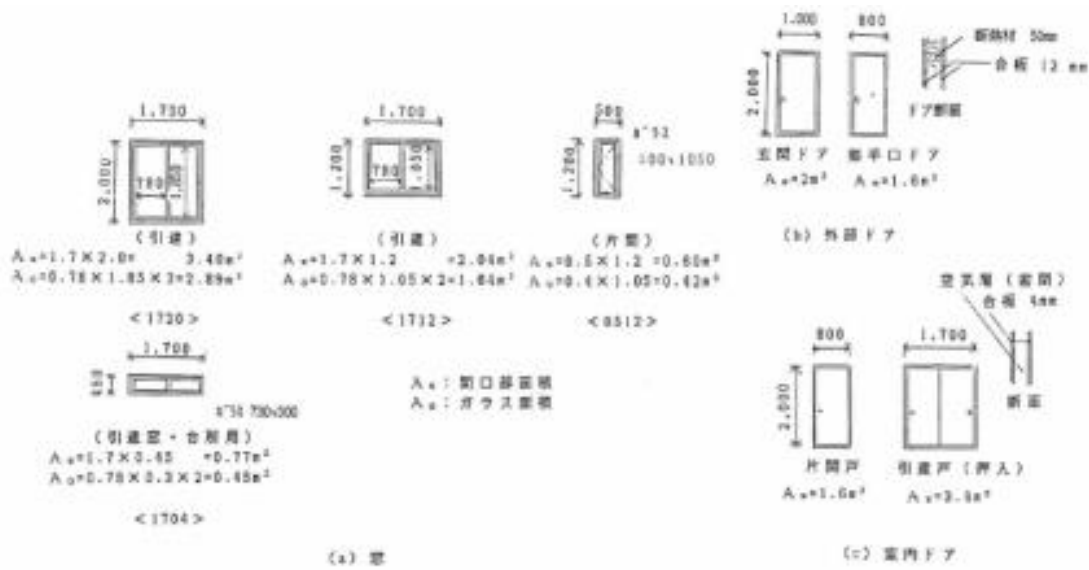
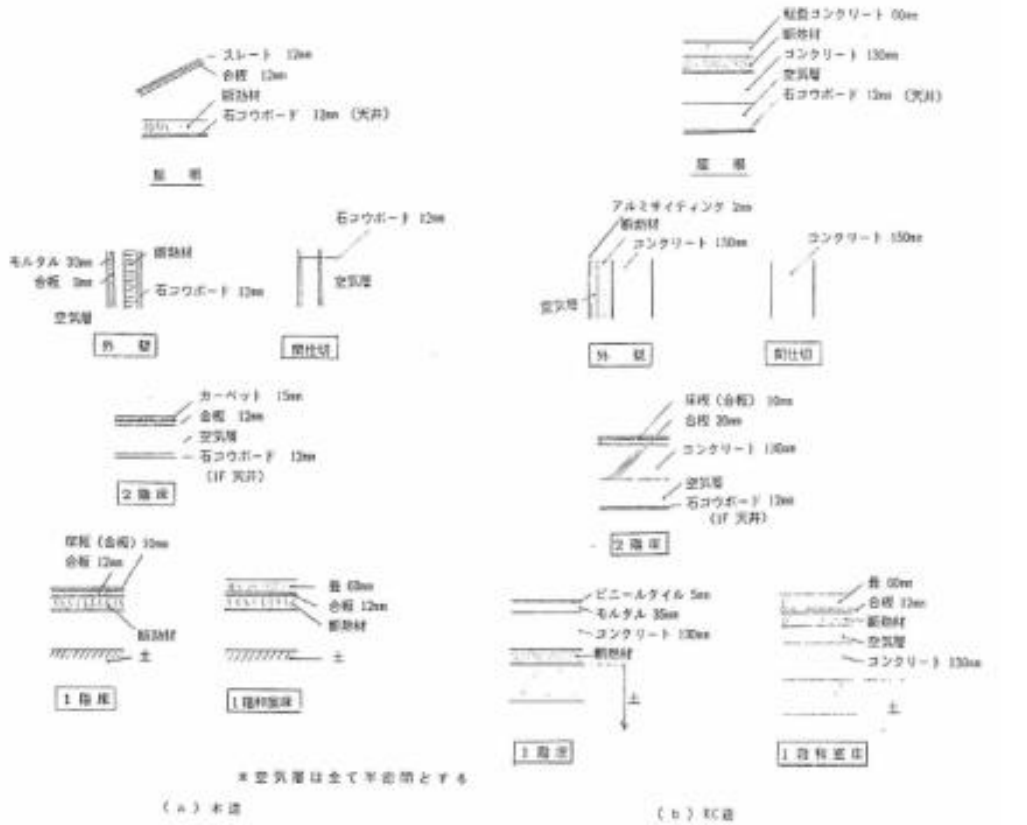


図 3-16 日本建築学会標準住宅モデル 壁体構造 (木造、RC 造) (上図)

図 3-17 日本建築学会標準住宅モデル 窓・建具リスト (下図)

<参考文献>

- 1) 国土交通省「平均築後年数」、総務省による住宅・土地統計調査(1998年、2003年)より算出
- 2) 鎌谷直毅, 小松幸夫「建築寿命に関する研究 ~2011年における我が国の住宅平均寿命の推計~」, 2011年度建築生産系建築生産演習報告, 2011
- 3) 伊香賀俊治, 外園豊「LCA データベース」社団法人日本建築学会, 2013
- 4) 宇田川光弘「標準問題の提案 (住宅用標準問題)」社団法人日本建築学会, 環境工学委員会, 熱分科会第15回シンポジウム, 1985

## b. 評価方法（資材製造時）

日本建築学会標準住宅モデルのプランを基に、各建築物において使用されている資材量を算出する。算出した資材量に日本建築学会の CO<sub>2</sub> 排出量原単位を掛け合わせることで、資材製造時における CO<sub>2</sub> 排出量を明らかにした。

## c. 評価結果（資材製造時）

### ア) 木造（多用）

図 3-18 に木造（多用）における主要部材別 CO<sub>2</sub> 排出量を示す。その他には珪酸カルシウム板、和紙、プラスチックフィルム、設備・開口部材が含まれている。

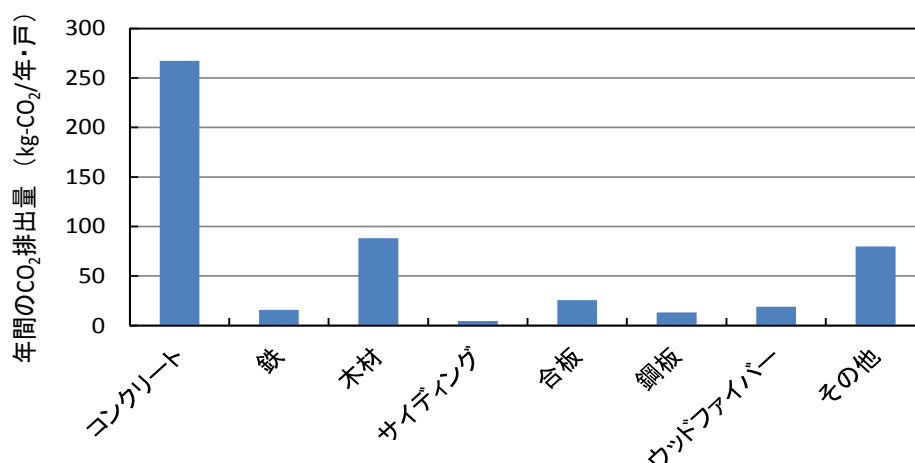


図 3-18 木造（多用）における主要部別材 CO<sub>2</sub> 排出量 (kg-CO<sub>2</sub>/年・戸)

図 3-19 に木造（多用）における部位別 CO<sub>2</sub> 排出量を示す。

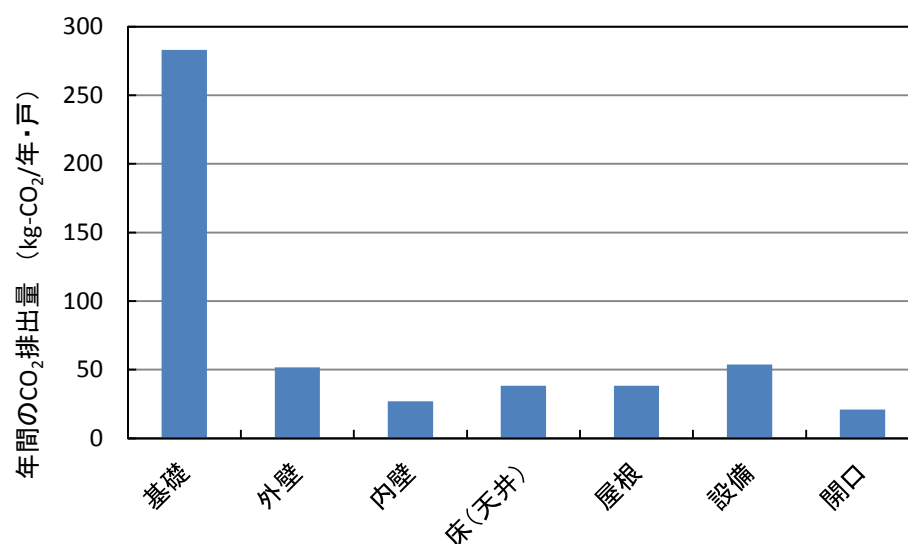


図 3-19 木造（多用）における部位別 CO<sub>2</sub> 排出量 (kg-CO<sub>2</sub>/年・戸)

イ) 木造（一般）

図 3-20 に木造（一般）における主要部材別 CO<sub>2</sub> 排出量を示す。その他には珪酸カルシウム板、プラスチックフィルム、設備・開口部材が含まれている。

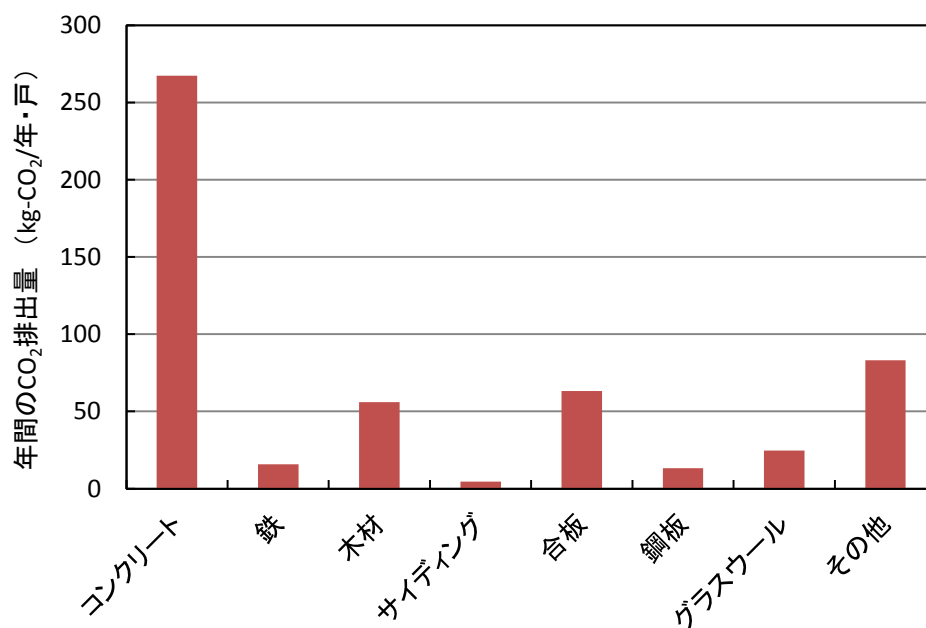


図 3-20 木造（一般）における主要部別材 CO<sub>2</sub> 排出量 (kg-CO<sub>2</sub>/年・戸)

図 3-21 に木造（一般）における部位別 CO<sub>2</sub> 排出量を示す。

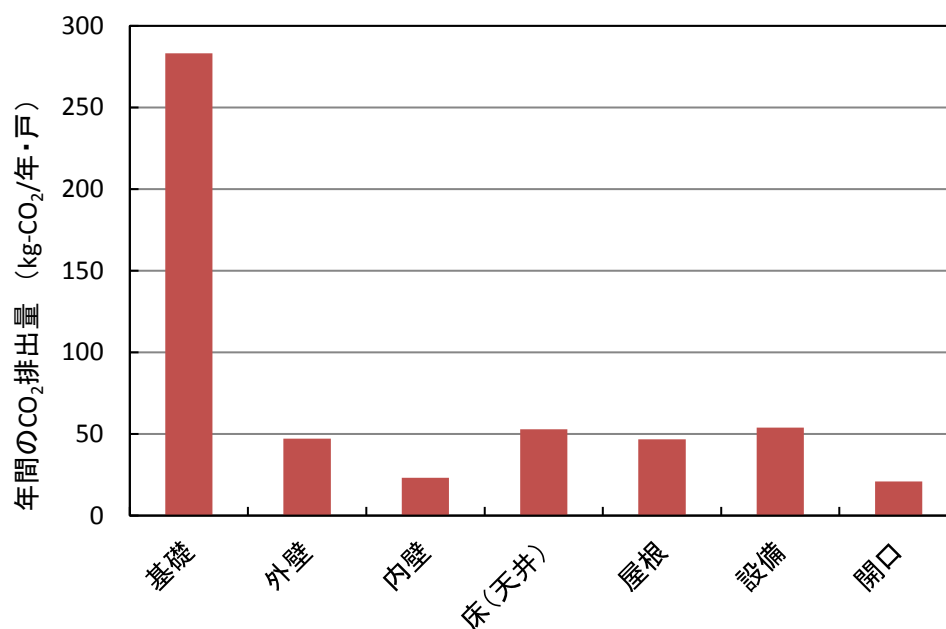


図 3-21 木造（一般）における部位別 CO<sub>2</sub> 排出量 (kg-CO<sub>2</sub>/年・戸)

ウ) RC 造

図 3-22 に RC 造における主要部材別 CO<sub>2</sub> 排出量を示す。その他には珪酸カルシウム板、プラスチックフィルム、ドロマイトプラスター、設備・開口部材が含まれている。

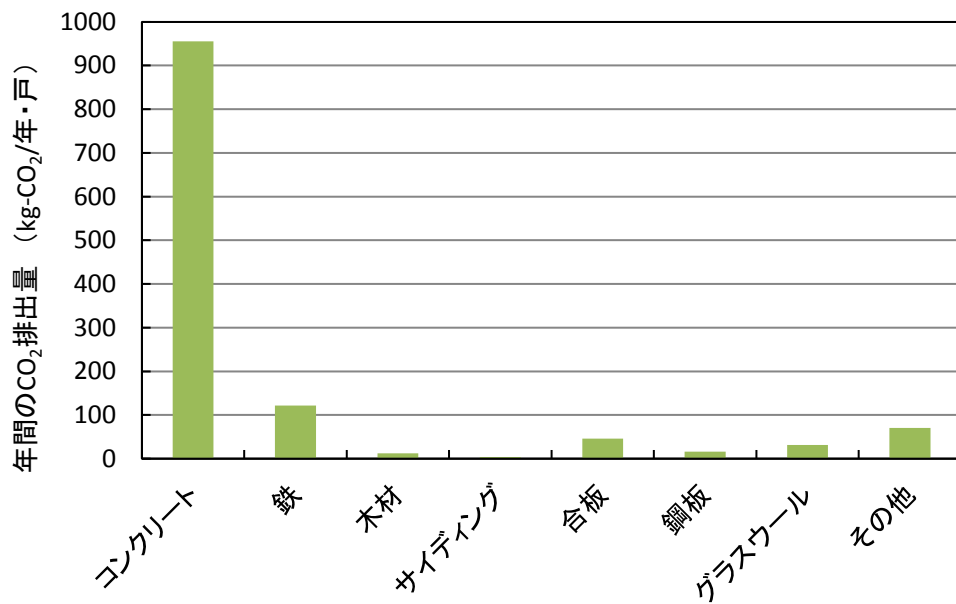


図 3-22 RC 造における主要部材別 CO<sub>2</sub> 排出量 (kg-CO<sub>2</sub>/年・戸)

図 3-23 に RC 造における部位別 CO<sub>2</sub> 排出量を示す。

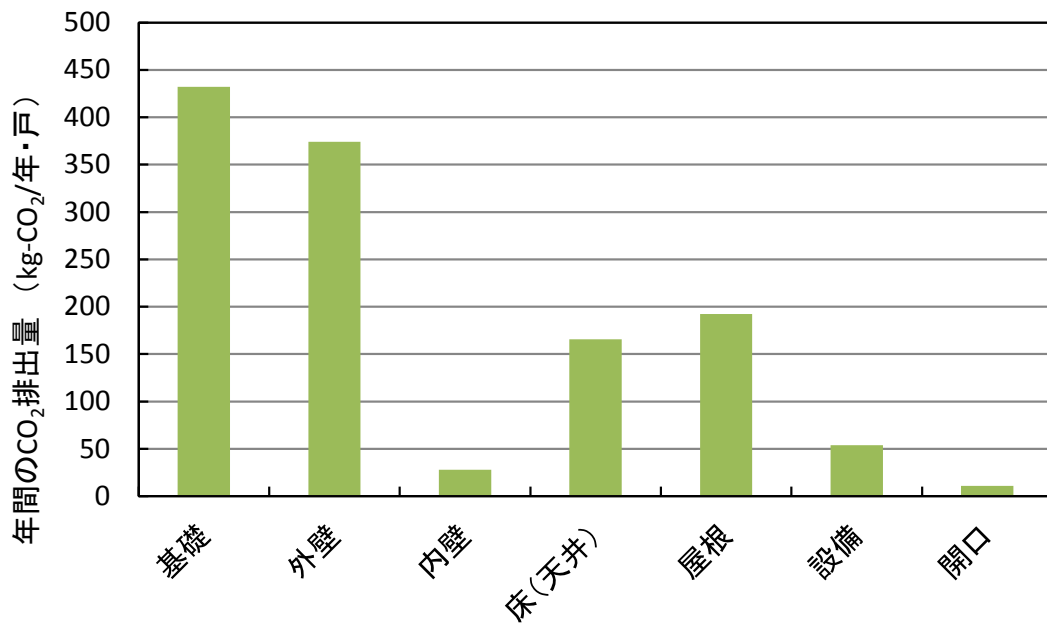


図 3-23 RC 造における部位別 CO<sub>2</sub> 排出量 (kg-CO<sub>2</sub>/年・戸)

エ) S 造

図 3-24 に S 造における主要部材別 CO<sub>2</sub> 排出量を示す。その他には珪酸カルシウム板、プラスチックフィルム、設備・開口部材が含まれている。

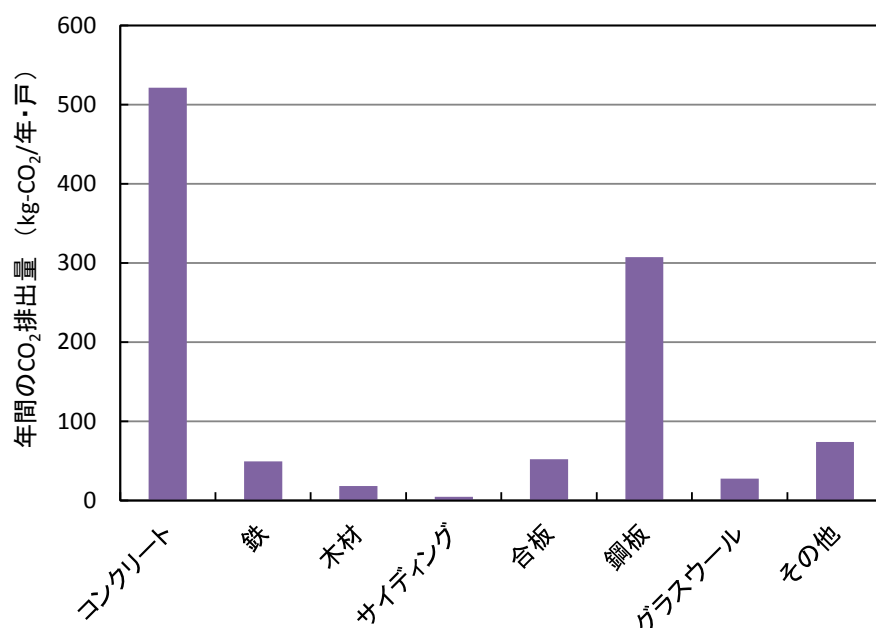


図 3-24 S 造における主要部別材 CO<sub>2</sub> 排出量 (kg-CO<sub>2</sub>/年・戸)

図 3-25 に S 造における部位別 CO<sub>2</sub> 排出量を示す。

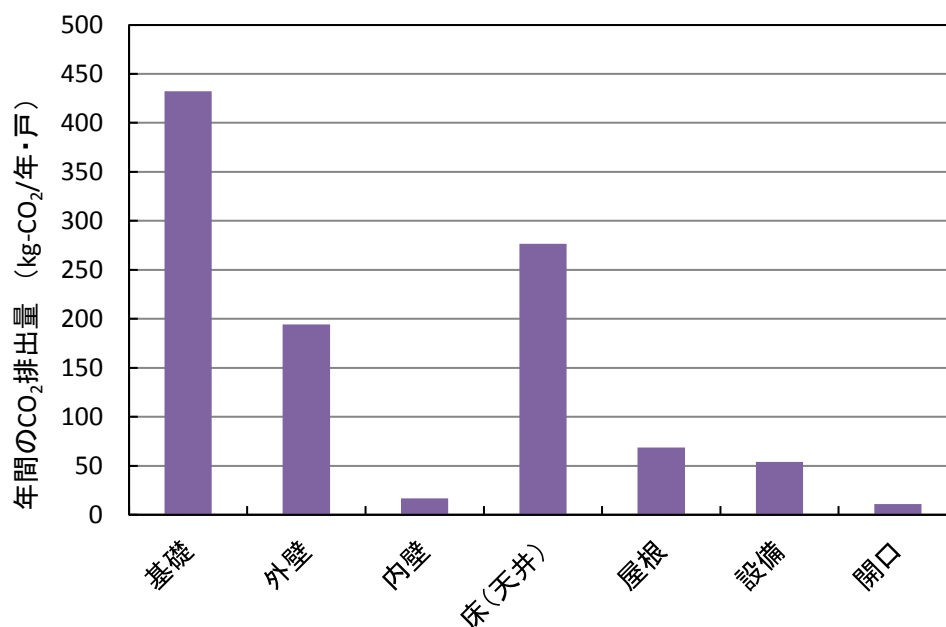


図 3-25 S 造における部位別 CO<sub>2</sub> 排出量 (kg-CO<sub>2</sub>/年・戸)

オ) 各構造における主要部材別の比較

図 3-26 に各構造における主要部材別資材製造時 CO<sub>2</sub> 排出量を示す。コンクリートに関して、壁、床、天井すべてにコンクリートを使用している RC 造が最も高い CO<sub>2</sub> 排出量を示している。木造（多用）、木造（一般）においてはコンクリートを基礎にのみ使用しており、同様の基礎構造のため、同じ CO<sub>2</sub> 排出量を示している。鉄に関して、コンクリート内の鉄骨が大部分を占めているため、コンクリートを最も使用している RC 造が最も高い CO<sub>2</sub> 排出量を示している。木材に関して、木造（多用）がもっとも木材を使用しているため、最も高い CO<sub>2</sub> 排出量を示している。サイディングに関して、すべての構造において外壁に使用しており、使用量も同様のため、同じ CO<sub>2</sub> 排出量を示している。合板に関して、内装材に無垢材を多用している木造（多用）が最も低い CO<sub>2</sub> 排出量を示しており、合板フローリングや合板床下地などを使用している木造（一般）が最も高い CO<sub>2</sub> 排出量を示している。鋼板に関して、梁や柱に鋼材を使用している S 造が最も高い CO<sub>2</sub> 排出量を示している。断熱材に関して、RC 造が最も断熱材を使用しているため、最も高い CO<sub>2</sub> 排出量となった。また、ウッドファイバーを使用している木造（多用）は最も低い CO<sub>2</sub> 排出量となった。

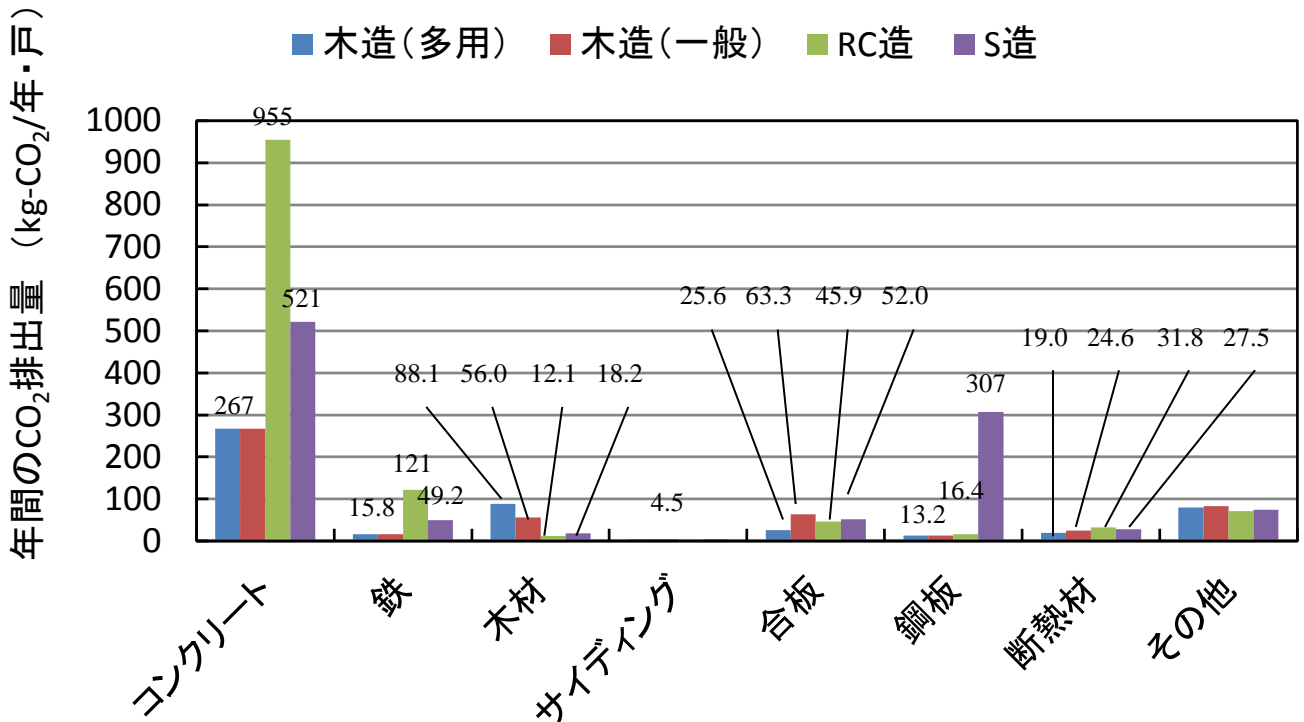


図 3-26 構造における主要部材別資材製造時 CO<sub>2</sub> 排出量 (kg-CO<sub>2</sub>/年・戸)



カ) 各構造における主要部位別の比較

図 3-27 に各構造における主要部位別資材製造時 CO<sub>2</sub> 排出量を示す。基礎に関して、木造（多用）と木造（一般）が同様の基礎構造をしているため、同様の CO<sub>2</sub> 排出量となった。また、RC造とS造においても同様の基礎構造をしているため、同様の CO<sub>2</sub> 排出量となった。外壁に関して、コンクリートを使用している RC造が最も高い CO<sub>2</sub> 排出量を示している。内壁に関しては、仕上げ材に杉板を使用している木造（多用）が高い CO<sub>2</sub> 排出量となった。床（天井）に関して、コンクリートに加え、鋼板を大量に使用している S造が最も高い CO<sub>2</sub> 排出量を示した。木造（多用）が無垢材の下地材、仕上げ材を使用しているのに対して、木造（一般）は合板の下地材、仕上げ材を使用しているため、木造（多用）に比べて木造（一般）の CO<sub>2</sub> 排出量が多くなっている。屋根に関しては、外壁と同様、コンクリートを使用している RC造が最も高い CO<sub>2</sub> 排出量を示した。設備、開口に関しては、すべての構造において同量使用しているため、すべての構造で同様の CO<sub>2</sub> 排出量となっている。

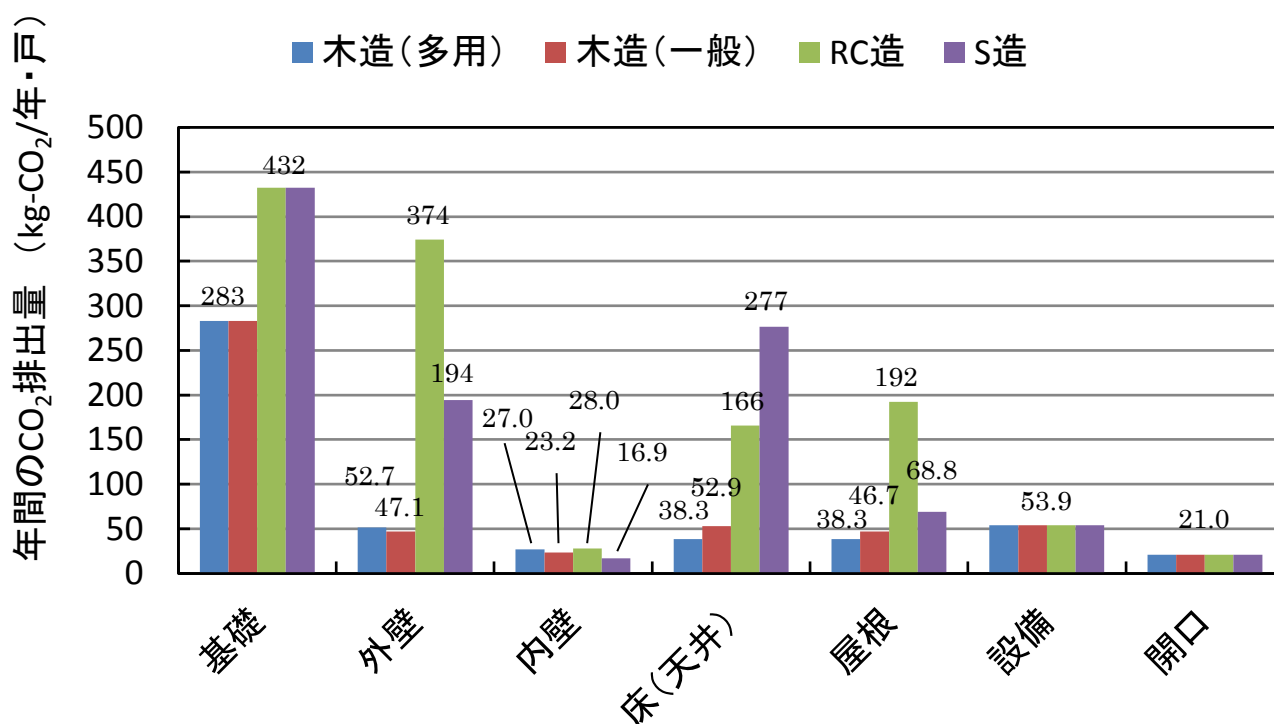


図 3-27 各構造における主要部位別資材製造時 CO<sub>2</sub> 排出量 (kg-CO<sub>2</sub>/年・戸)

キ) 各構造における比較

図 3-28 に各構造における資材製造時の CO<sub>2</sub> 排出量を示す。RC 造が最も高い CO<sub>2</sub> 排出量を示し、木造（一般）に比べて 118%増加した。これは、コンクリート使用量が最も多い構造であるためである。RC 造の次に S 造が高い CO<sub>2</sub> 排出量を示し、木造（一般）に比べて 88%増加した。これは、コンクリート使用量が RC 造よりも少ないものの、梁や柱において大量の鋼板を使用しているからである。また、木材（多用）は最も低い CO<sub>2</sub> 排出量を示し、木造（一般）と比べて 3.8%減少した。これは、木材（多用）の断熱材の CO<sub>2</sub> 排出量が少なかったことに加えて、床（天井）において無垢材の下地材、仕上げ材を使用したためである。

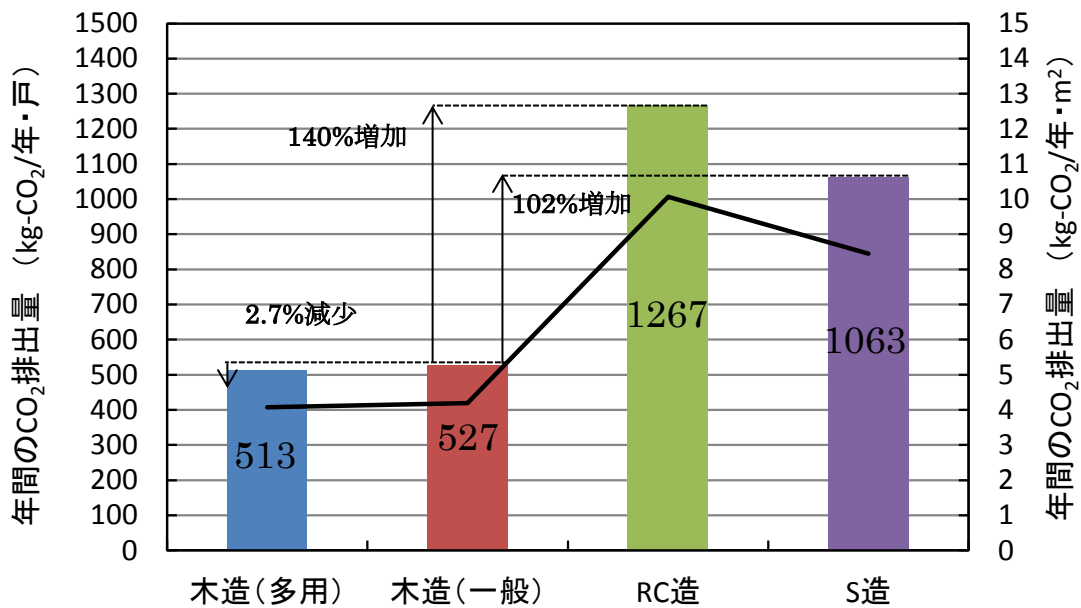


図 3-28 各構造における資材製造時時 CO<sub>2</sub> 排出量 (kg-CO<sub>2</sub>/年)

※棒グラフは kg-CO<sub>2</sub>/年・戸を、折れ線グラフは kg-CO<sub>2</sub>/年・m<sup>2</sup> 示している。

<参考文献>

- 1) 宇田川光弘「標準問題の提案 (住宅用標準問題)」社団法人日本建築学会, 環境工学委員会, 熱分科会第 15 回シンポジウム, 1985

#### d. 評価方法（建設時）

建設時の CO<sub>2</sub> 排出量は日本建築学会の公表値、近田らの論文<sup>1)</sup>を参考にした。

#### e. 評価結果（建設時）

表 3-35 に各構造における建設時 CO<sub>2</sub> 排出量を示す。RC 造の CO<sub>2</sub> 排出量 (kg-CO<sub>2</sub>/年・戸) が最も高い値を示し、木造（多用・一般）の 2.4 倍、S 造の 1.5 倍となった。

表 3-35 各構造における建設時 CO<sub>2</sub> 排出量

構造	延べ床面積	CO <sub>2</sub> 排出量原単位 (kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	CO <sub>2</sub> 排出量 (kg-CO <sub>2</sub> /年・戸)
木造（多用）	125.86	2.5	5.2
木造（一般）		2.5	5.2
RC 造		6.0	12.6
S 造		3.9	8.2

#### <参考文献>

- 1) 近田智也、井上隆、「住宅に係る地球温暖化影響の全体像」、日本建築学会総合論文誌, 2003.9

#### f. 評価方法（運用時）

運用時の CO<sub>2</sub> 排出量は大きく三つの要素に区別するものとする。その三つの要素とは、①空調負荷、②照明・家電・その他、③給湯である。空調負荷に関しては、京都府立大学の尾崎明仁教授が開発した室内温湿度環境と空調負荷のシミュレーションを行う熱負荷計算ソフト THERB を用いて、照明・家電・その他、給湯に関しては、Excel のマクロ機能を用いて電気使用量、給湯量を算出する、居住・行動シミュレーションソフト SCHEDULE ver.2 を用いて、年間のエネルギー消費量を算出した。その値に対して、電気に関しては東京電力の、ガスに関しては東京ガスの CO<sub>2</sub> 排出量原単位を掛け合わせることで、年間の CO<sub>2</sub> 排出量を算出した。運用時のシミュレーション条件を下表に示す。

本調査ではすべての構造において、断熱性能を同一にしているため、空調負荷は同一の値となるはずである。算出した結果、すべての構造が木造（一般）と比較して誤差 0.5%以内であったため、すべての構造において同一の値を使用し、照明・家電、給湯の CO<sub>2</sub> 排出量に関してもすべての構造において同一の値を使用する。また、すべての室内扉は締め切ったものとする。

表 3-36 シミュレーション条件

所在地	東京	空調 条件	夏季 6月1日～8月31日 L/D 7:00-9:00 15:00-23:00 和室 7:00-9:00 15:00-23:00 主寝室 23:00-7:00 洋室 1,2 23:00-7:00
家族構成	夫婦（共働き） 子供二人		
間取り	日本建築学会 標準住宅モデル		
仕様	断面詳細図参照		
延べ床面積	126m <sup>2</sup>		
外皮表面積	332m <sup>2</sup> (RC造のみ 298m <sup>2</sup> )		
窓熱貫流率 W/(m <sup>2</sup> /K)	3.49 (アルミサッシ) <sup>1)</sup>		
扉熱貫流率 W/(m <sup>2</sup> /K)	外扉 2.91 (金属製) <sup>1)</sup> 室内扉 2.91 (木製) <sup>1)</sup>		
外皮平均 熱貫流率 (U 値)	0.64 (アルミサッシ)		
換気回数	0.5 回/h		
気象条件	拡張アメダスデータ (東京)	冬季 12月1日～2月28日 L/D 7:00-9:00 15:00-23:00 和室 7:00-9:00 15:00-23:00 主寝室 23:00-7:00 洋室 1,2 23:00-7:00	

### g. 評価結果（運用時）

図 3-29 に運用時 CO<sub>2</sub> 排出量を示す。シミュレーションの結果、照明・家電・その他の CO<sub>2</sub> 排出量が 2178 (kg-CO<sub>2</sub>/年・戸)、給湯の CO<sub>2</sub> 排出量が 751 (kg-CO<sub>2</sub>/年・戸) となった。また、空調負荷の CO<sub>2</sub> 排出量は 1850 (kg-CO<sub>2</sub>/年・戸) となり、運用時全体 4780 (kg-CO<sub>2</sub>/年・戸) の 39%を占める結果となった。

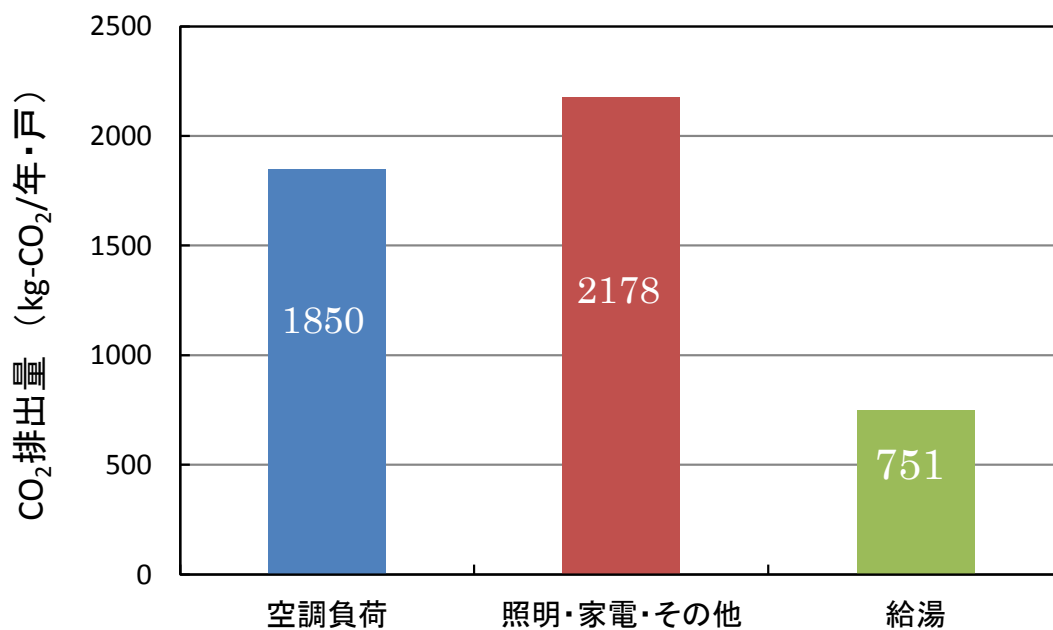


図 3-29 サッシ種類別運用時の CO<sub>2</sub> 排出量

#### <参考文献>

- 1) 「特定建築物（住宅）の省エネ措置の届出ガイド」, 建築環境・省エネルギー機構, 2009
- 2) 清水則夫, 「ベターリビングと木製サッシ」, (財) ベターリビング, 2000

#### h. 評価方法（改修時）

日本建築学会の公表値を参考に更新周期の設定を行い、改修回数を設定した。一回の資源投入量から 60 年間の改修により発生する資材投入量を算出し、各資材の CO<sub>2</sub> 排出量原単位を掛け合わせることで改修時 CO<sub>2</sub> 排出量を算出した。表 3-37 に各資材の更新周期と更新回数を示す。

表 3-37 各資材の更新周期と更新回数

区分	資材名称	更新周期（年）	更新回数（回）
躯体		60	0
羽柄材		60	0
断熱材	ウッドファイバー	60	0
	グラスウール	60	0
内装材	杉板貼り	30	1
	快適クロス	15	3
	ドラママイトプラスター	60	0
	ビニルクロス	15	3
	無垢フローリング	30	1
	合板フローリング	30	1
	PB	30	1
外装材	不燃木材	60	0
	サイディング	60	0
	ガルバリウム鋼板	30	1
	珪酸カルシウム板	60	0
	透湿防水シート	60	0
設備	設備全般	15	3
開口	窓全般	60	0

i. 評価結果（改修時）

ア) 木造（多用）

図 3-30 に木造（多用）における区分別 CO<sub>2</sub> 排出量を示す。

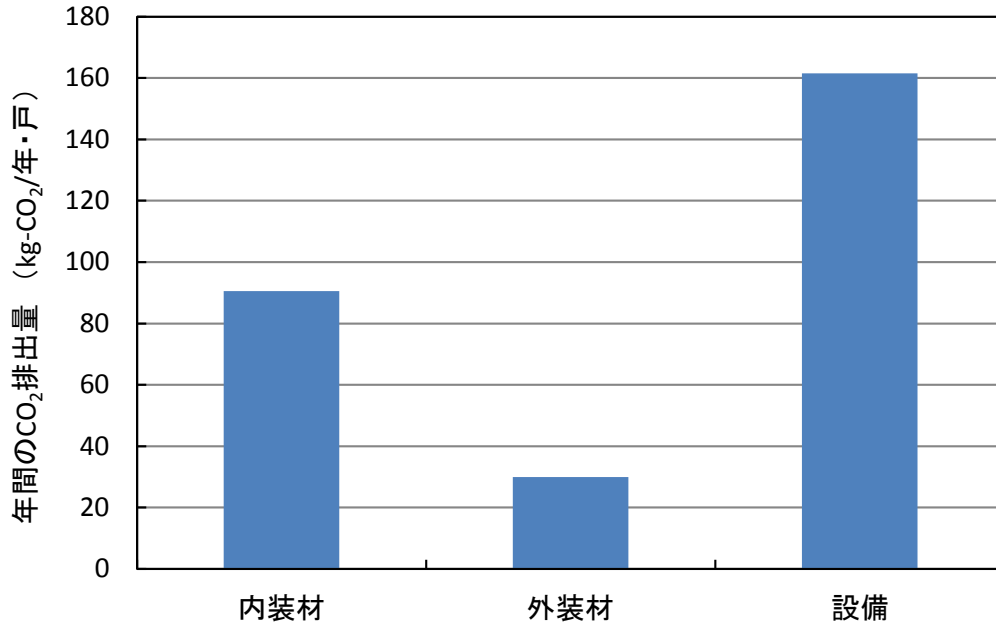


図 3-30 木造（多用）における区分別 CO<sub>2</sub> 排出量

イ) 木造（一般）

図 3-31 に木造（一般）における区分別 CO<sub>2</sub> 排出量を示す。

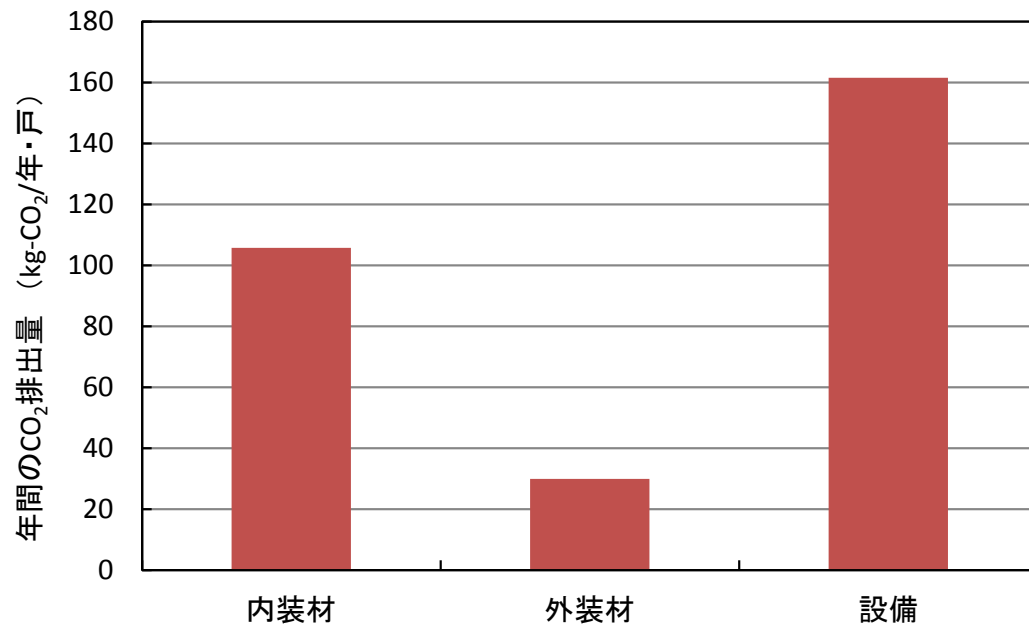


図 3-31 木造（一般）における区分別 CO<sub>2</sub> 排出量

ウ) RC 造

図 3-32 に RC 造における区分別 CO<sub>2</sub> 排出量を示す。

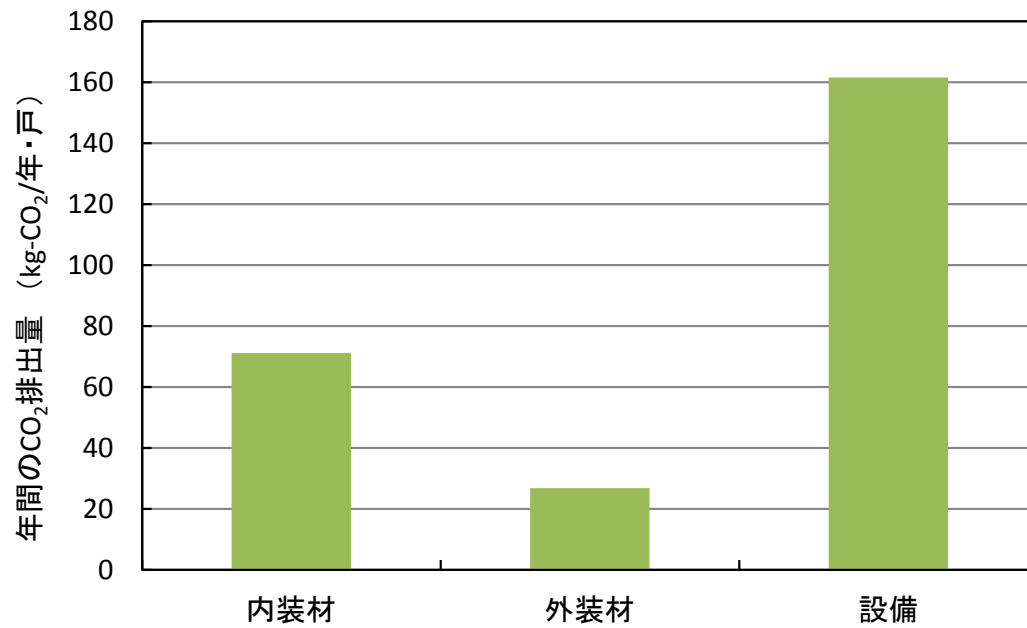


図 3-32 RC 造における区分別 CO<sub>2</sub> 排出量

エ) S 造

図 3-33 に S 造における区分別 CO<sub>2</sub> 排出量を示す。

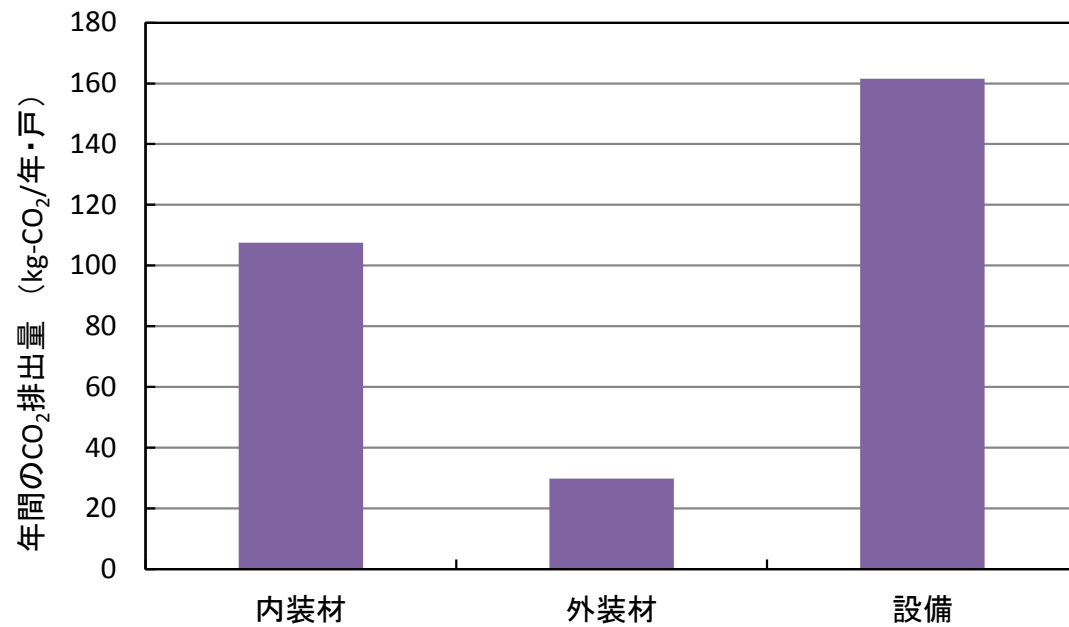


図 3-33 S 造における区分別 CO<sub>2</sub> 排出量



オ) 各構造における区分別の比較

図 3-34 に各構造における区分別 CO<sub>2</sub> 排出量を示す。内装材に関して、仕上げ材としてドロマイドプラスターを使用しているため、RC 造が最も低い CO<sub>2</sub> 排出量となった。また、木造（多用）が無垢材の仕上げ材、下地材を使用しているのに対して、木造（一般）は合板の仕上げ材、下地材を使用している。これにより、木造（一般）が木造（多用）よりも CO<sub>2</sub> 排出量となった。外装材に関して、改修する部材はガルバリウム鋼板だけであり、ガルバリウム鋼板は屋根にしか使われていないため RC 造以外は同じ CO<sub>2</sub> 排出量となっている。RC 造のみ小さな CO<sub>2</sub> 排出量となった理由は、RC 造が陸屋根構造をしており、他の切り妻屋根に比べて屋根面積が小さいからである。設備に関しては、すべての構造において同量使用しているため、すべての構造で同様の CO<sub>2</sub> 排出量となった。

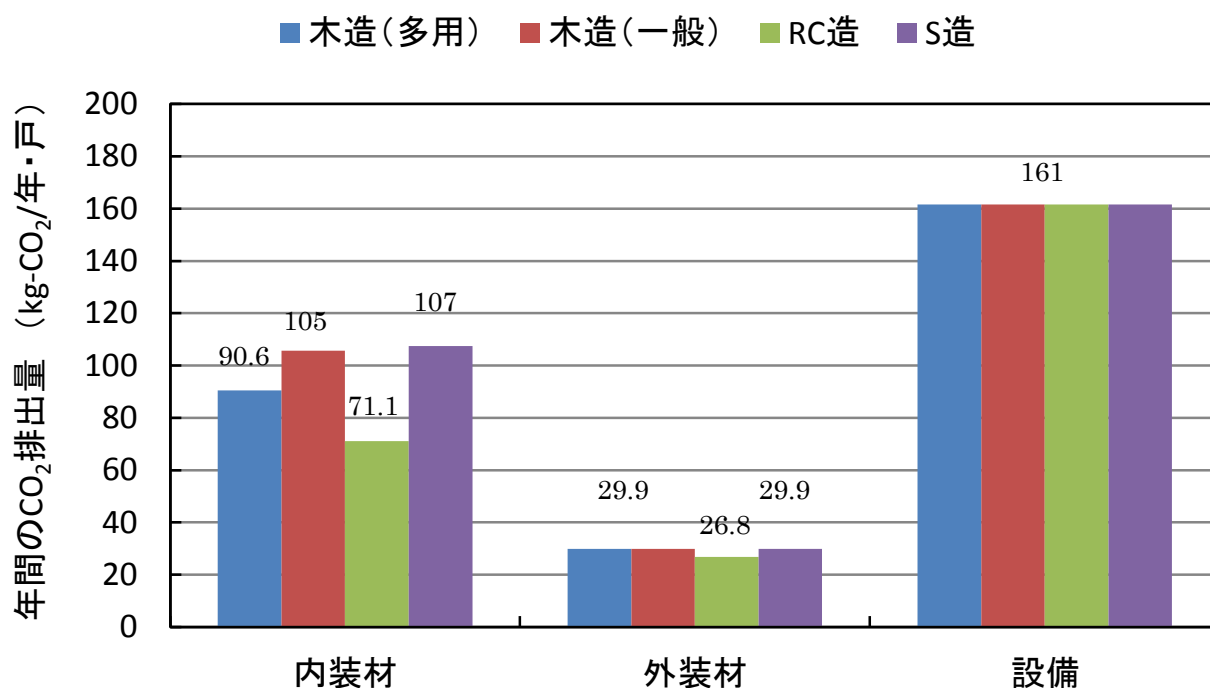


図 3-34 各構造における区分別 CO<sub>2</sub> 排出量

カ) 各構造における比較

図 3-35 に各構造における改修時 CO<sub>2</sub> 排出量を示す。S 造が最も高い CO<sub>2</sub> 排出量を示し、木造（一般）に比べて 0.6% 増加した。これは、木造（一般）と比べて内装材における PB の使用量が多いためである。また木造（多用）の CO<sub>2</sub> 排出量は、木造（一般）に比べて 5.1% 減少した。これは、内装材において無垢材の仕上げ材、下地材を使用しているからである。RC 造が最も少ない CO<sub>2</sub> 排出量を示しているが、これは外壁の室内側に PB を使用せず、コンクリートの上に直接ドロマイトプラスターを塗布しているからである。

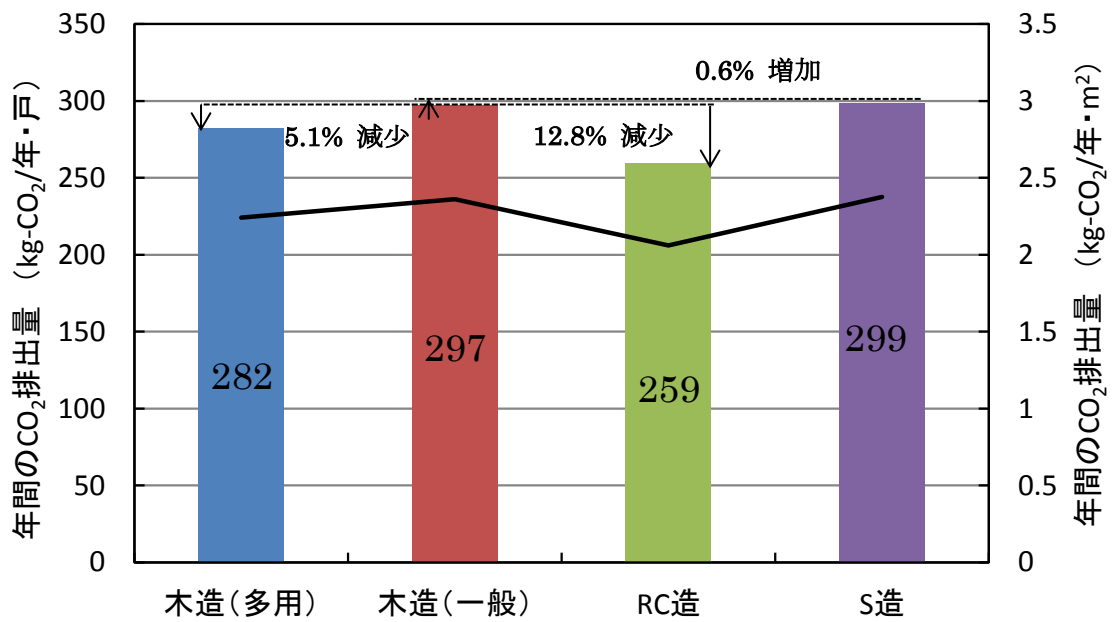


図 3-35 各構造における改修時 CO<sub>2</sub> 排出量

※棒グラフは kg-CO<sub>2</sub>/年・戸を、折れ線グラフは kg-CO<sub>2</sub>/年・m<sup>2</sup> 示している。

## j. 評価方法（廃棄時）

解体時は日本建築学会の公表値、近田らの論文<sup>1)</sup>、文献値<sup>2)</sup>を参考にし、解体段階、輸送段階、廃棄段階と三つの段階に分け、足し合わせることで解体時のCO<sub>2</sub>排出量を算出した。なお、解体時システム境界には再生工場、最終処分場までは含めないものとする。

## k. 評価結果（廃棄時）

### ア) 解体段階

表 3-38 に各構造における解体段階CO<sub>2</sub>排出量を示す。RC造のCO<sub>2</sub>排出量(kg-CO<sub>2</sub>/年・戸)が最も高い値を示し、木造、S造の8.1倍となった。

表 3-38 各構造における解体段階CO<sub>2</sub>排出量

構造	延べ床面積	CO <sub>2</sub> 排出量原単位 (kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	CO <sub>2</sub> 排出量 (kg-CO <sub>2</sub> /年・戸)
木造(多用)	125.86	1.14 <sup>1)</sup>	2.39
木造(一般)		1.14 <sup>1)</sup>	2.39
RC造		1.14 <sup>1)</sup>	2.39
S造		9.20 <sup>2)</sup>	19.3

### イ) 輸送段階

輸送段階においては、建築物に投入された資材量を、プラントごとに搬出先に分類し、必要トラック台数を求めた。このトラック台数から燃料消費量を算出し、燃料のCO<sub>2</sub>原単位を掛け合わせることで輸送段階のCO<sub>2</sub>排出量を求めた。表 3-39 に輸送条件、表 3-40 にトラック積載率、表 3-41 に各構造における廃棄物量、必要トラック台数を示す。

表 3-39 輸送条件

使用トラック	燃費(km/L)	輸送距離(km)	軽油CO <sub>2</sub> 原単位(kg-CO <sub>2</sub> /L)
4tトラック	6	30	2.91 <sup>3)</sup>

表 3-40 トラック積載率

	トラック積載率 <sup>1)</sup>	実際の積載可能量(t)
破砕プラント (木・廃プラ)	0.925	3.7
選別プラント (混合廃棄物)	0.825	3.3
破砕プラント (コンクリガラ)	1.000	4.0
破砕プラント (木材)	0.495	2.0
再生プラント① (鉄骨)	0.600	2.4
再生プラント② (その他の金属)	1.000	4.0

表 3-41 各構造における廃棄物量、必要トラック台数

	廃棄物量 (t)				トラック台数			
	木造 (多用)	木造 (一般)	RC 造	S 造	木造 (多用)	木造 (一般)	RC 造	S 造
破砕プラント (木・廃プラ)	0.657	0.644	0.775	0.772	1	1	1	1
選別プラント (混合廃棄物)	7.420	9.242	6.940	10.71	3	3	3	4
破砕プラント (コンクリガラ)	53.44	53.44	191.0	104.2	14	14	48	27
破砕プラント (木材)	12.99	9.558	1.778	2.684	7	5	1	2
再生プラント (鉄骨)	1.339	1.339	10.26	4.115	1	1	5	2
再生プラント (その他の金属)	0.418	0.417	0.513	9.213	1	1	1	3

輸送段階におけるプラント種類別各構造の CO2 排出量を図 3-36 に示す。破碎プラント（木・廃プラ）に関して、すべての構造においてトラック台数が同様のため、CO2 排出量も同じ値となった。選別プラントに関して、S 造においては PB の使用量が多いため、トラック台数が他の構造に比べて 1 台多くなり、CO2 排出量が増加している。破碎プラント（コンクリガラ）に関して、コンクリート使用量が最も多い RC 造の CO2 排出量が最も高くなっている。同様に、破碎プラント（木材）に関して、木材使用量が最も多い木造（多用）の CO2 排出量が最も高くなっている。再生工場（鉄）に関して、鉄筋使用量が最も多い RC 造の CO2 排出量が最も高く、再生工場（金属）に関しては、鋼板使用量が最も多い S 造の CO2 排出量が最も高くなっている。

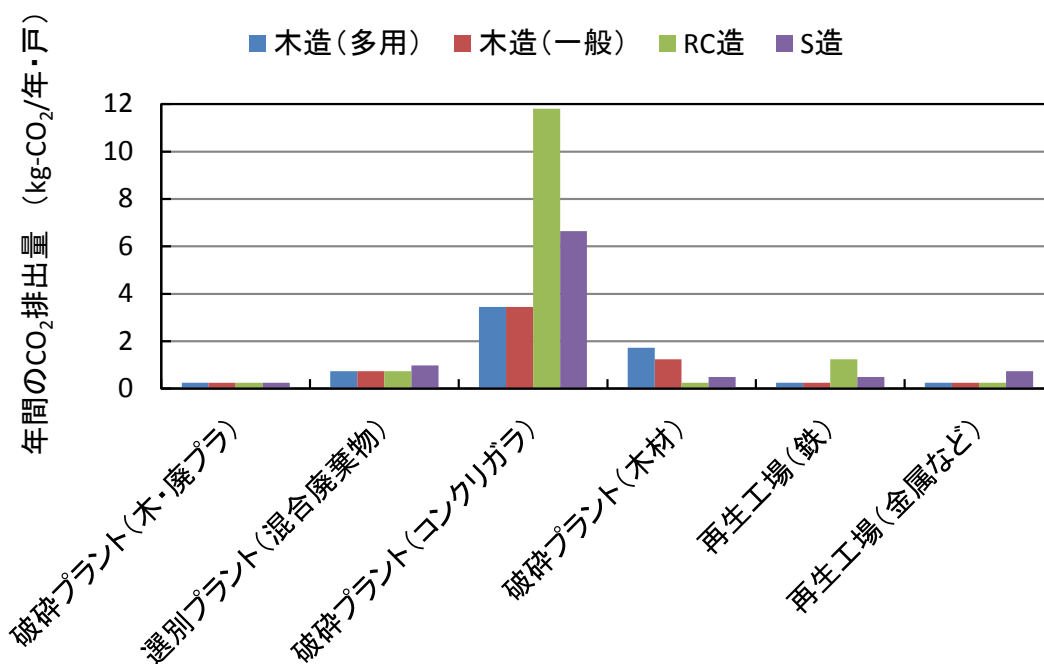


図 3-36 輸送段階における各構造の CO2 排出量

ウ) 廃棄段階

廃棄段階においては、プラント種別ごとにおける単位重量当たりのCO<sub>2</sub>排出量を、廃棄物量に掛け合わせることでCO<sub>2</sub>排出量を算出した。表 3-42 に各プラントにおける単位重量あたりのCO<sub>2</sub>排出量、図 3-37 に廃棄段階における各構造のCO<sub>2</sub>排出量を示す。

表 3-42 各プラントにおける単位重量当たりのCO<sub>2</sub>排出量

	CO <sub>2</sub> 排出量 (kg-CO <sub>2</sub> /t)
破砕プラント (木・廃プラ)	10.20
選別プラント (混合廃棄物)	2.52
破砕プラント (コンクリガラ)	0.77
破砕プラント (木材)	20.88

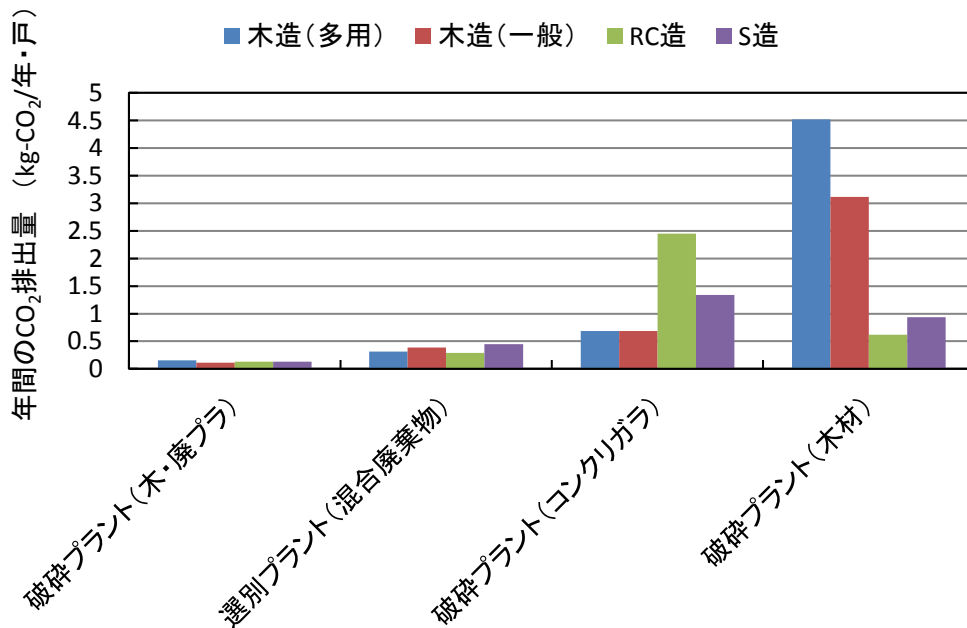


図 3-37 廃棄段階における各構造のCO<sub>2</sub>排出量

エ) 各構造における比較

図 3-38 に各構造における廃棄時 CO<sub>2</sub> 排出量を示す。木造（一般）が最も CO<sub>2</sub> 排出量が低く、12.8 (kg-CO<sub>2</sub>/年・戸) となった。木造（一般）に比べて、木造（多用）の CO<sub>2</sub> 排出量は 14.8%増加しており、破碎プラント（木材）における廃棄段階で高い CO<sub>2</sub> 排出量を示したためである。RC 造は最も高い CO<sub>2</sub> 排出量であり、木材（一般）の CO<sub>2</sub> 排出量から 191.4%増加している。また、S 造の CO<sub>2</sub> 排出量は木材（一般）の CO<sub>2</sub> 排出量から 147.7%増加している。

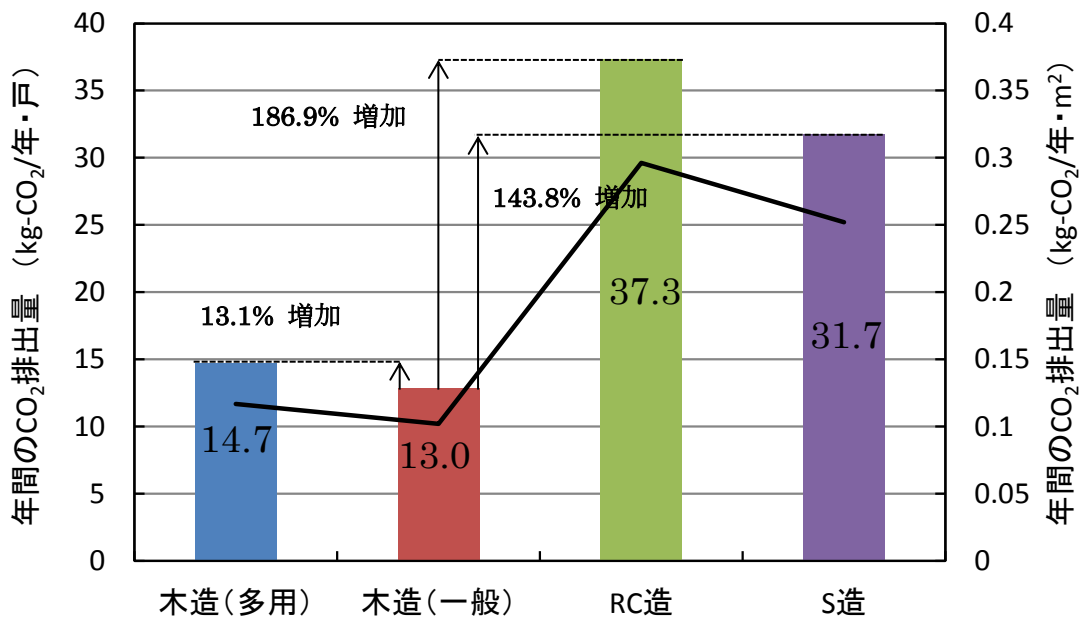


図 3-38 各構造における廃棄時 CO<sub>2</sub> 排出量

※棒グラフは kg-CO<sub>2</sub>/年・戸を、折れ線グラフは kg-CO<sub>2</sub>/年・m<sup>2</sup> 示している。

<参考文献>

- 1) 近田智也、井上隆、「住宅に係る地球温暖化影響の全体像」, 日本建築学会総合論文誌, 2003
- 2) 建設省総合技術プロジェクト, 「省資源・省エネルギー型国土建設技術開発」, 平成四~八年度報告書
- 3) 南齋規介, 森口祐一, 東野達, 「産業連関表による環境負荷単位データブック」, 独立行政法人国立環境研究所, 2002

### I. 木造（多用）、木造（一般）、RC造、S造におけるLCCO<sub>2</sub>

以上の検討で得られた各工程（資材製造時、建設時、運用時、改修時、廃棄時）のCO<sub>2</sub>排出量を積み上げることにより、LCCO<sub>2</sub>の全体構造を求めた結果（運用時はアルミサッシの場合）を図3-39に示す。RC造のCO<sub>2</sub>排出量が最も高く、木造（一般）と比べて12.8%増加した。また、S造はRC造の次にCO<sub>2</sub>排出量が高く、木造（一般）と比べて9.8%増加した。木材（多用）はすべての構造において最もCO<sub>2</sub>排出量が小さく、木造（一般）と比べて0.5%減少した。

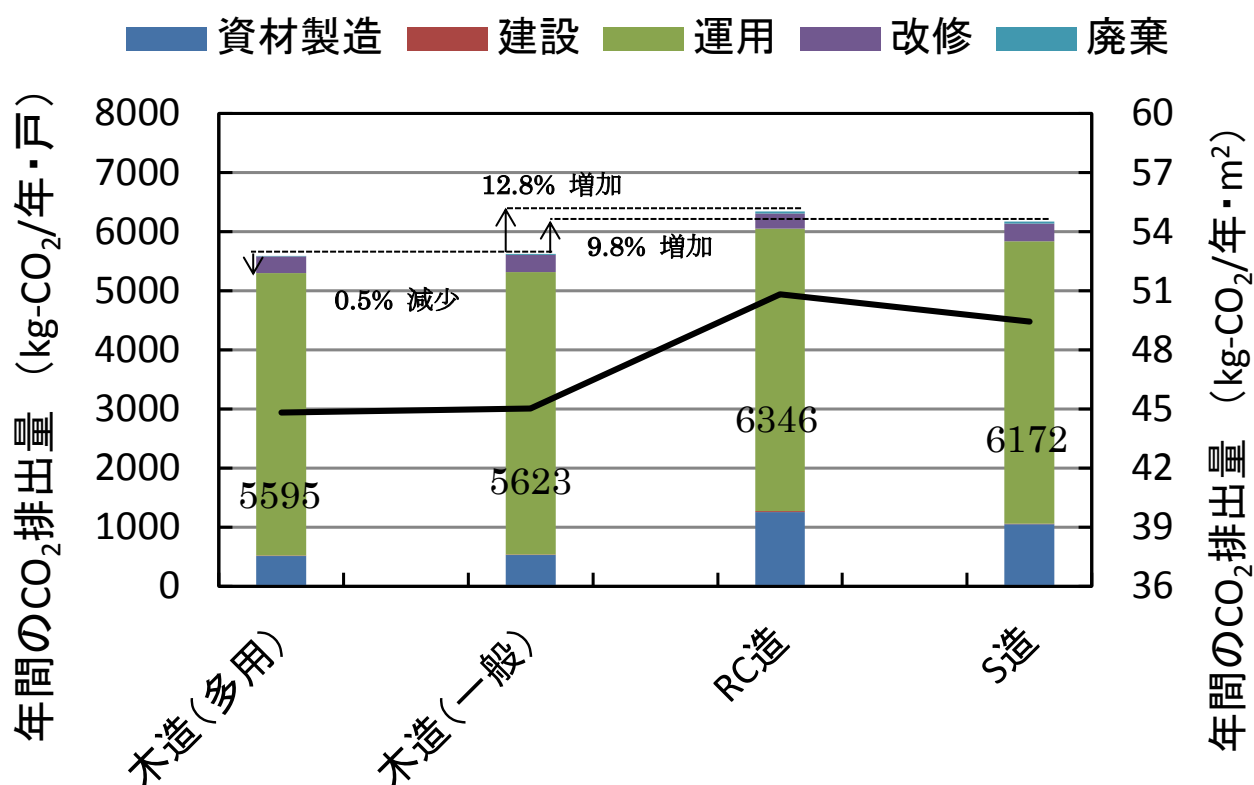


図 3-39 木造（多用）、木造（一般）、RC造、S造におけるLCCO<sub>2</sub>

※棒グラフはkg-CO<sub>2</sub>/年・戸を、折れ線グラフはkg-CO<sub>2</sub>/年・m<sup>2</sup>示している。



## 2) 低層オフィス

### a. 評価対象

木造、RC造、鉄骨造（S造）のオフィスを対象に評価を実施している。なお、木造建築物が現実的にありうるものとして、3階建ての官舎を想定して、それをRC造、鉄骨造（S造）とした場合の建築物との比較を行った。

※できるだけ同等の使用としているが構造の違いにより柱の数の差異等は発生する。

### b. 評価方法

評価方法は以下の通り。

ライフサイクルフロー	算出方法
標準モデル	国土交通省官庁営繕「官庁施設における木造耐火建築物の整備指針」から引用
原料調達～生産～建設	木：上記モデルの図面を基に部材使用料を積算 非木造：木造と機能条件を統一したS、RC造オフィスを設計し、部材使用量を積算 上記の部材使用量に、日本建築学会(AIJ)が公表している原単位及び新規作成した原単位を乗じてCO2排出量を算出
使用	CASBEE-新築を活用し運用CO2排出量を算出 (外皮性能PAL(*)値、設備性能CEC値は木・S・RC造で共通)
維持管理	日本建築学会LCAデータ等を参考に、一定の維持修繕率等に乗じるにより算出
廃棄等	日本建築学会LCAデータ等を参考に、一定の廃棄率等に乗じるにより算出

#### ア) ライフサイクルフロー

以下に示すライフサイクル段階全てを対象として積み上げで評価を実施する。また、建築物の耐用年数を60年と設定し、60年間でのライフサイクルの評価を実施する。

なお、使用時排出量が多くなるのが想定されるが、断熱性を構造間で揃えて評価するため、それらに際は発生しない。このことから、使用時排出量は簡易的に評価することとする。



図 3-40 低層オフィスのライフサイクルフロー

イ) 標準オフィスモデルの設定

下記に示す通り、国土交通省官庁営繕「官庁施設における木造耐火建築物の整備指針」(H25.3)におけるタイプC(メンブレン型、3階建木造、延面積1,500m<sup>2</sup>、事務用途、耐火建築物)を標準オフィスモデルとして採用した。

表 3-43 標準オフィスモデルの条件設定

	木造	鉄骨造	鉄筋コンクリート造
間取り	国土交通省官庁営繕「官庁施設における木造耐火建築物の整備指針」(H25.3)におけるタイプC(メンブレン型、3階建木造、延面積1,500m <sup>2</sup> 、事務用途、耐火建築物)を用いる。 鉄骨造、RC造についても同様だが、構造条件や空間利用条件等を考慮し、柱のスパン等がより現実的なものになるよう修正を施す可能性もある。		
断熱性能	設計情報に基づき PAL*値が同一となるよう必要な部材の種類や量を調整する。断熱性能(外皮平均熱還流率等)は平成25年改定省エネ基準における6地域の基準値とする。		
設備仕様	基本的に木造、非木造で同等のものを想定		
部材使用量	上記の官庁施設モデルに準拠し、積算する(設計事務所に外注)	上記間取りを基に、S造の場合の部材使用量を積算(設計事務所に外注)	上記間取りを基に、RC造の場合の部材使用量を積算(設計事務所に外注)
	※耐火性能は同等のものとする。木造の場合は、耐火建築物のため、石膏パネルの使用量が多く、その荷重に耐えるため構造材も多く使う。 ※木造は、床振動を抑えるために床を厚くする。 ※外装材は、耐火基準からオフィスと同等のものが使えない。住宅用の耐火認定を受けた外装材を用いる。		
耐用年数	60年		

ウ) [参考] オフィスのプランについて

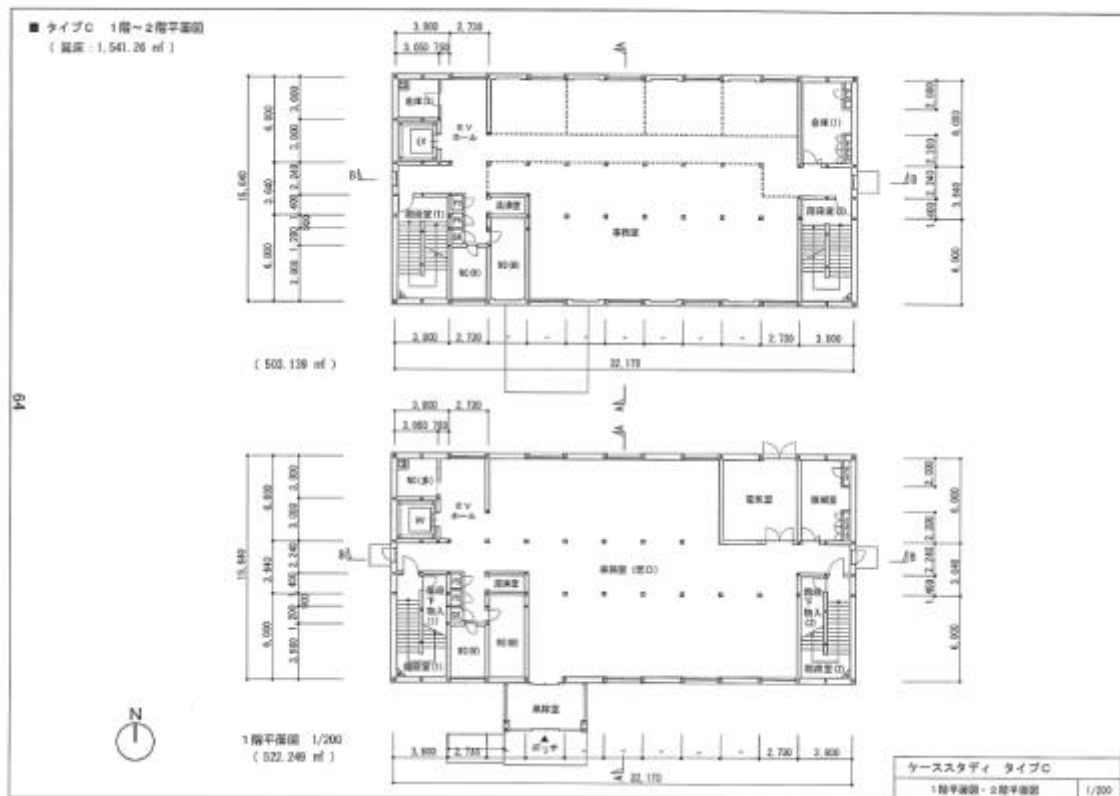
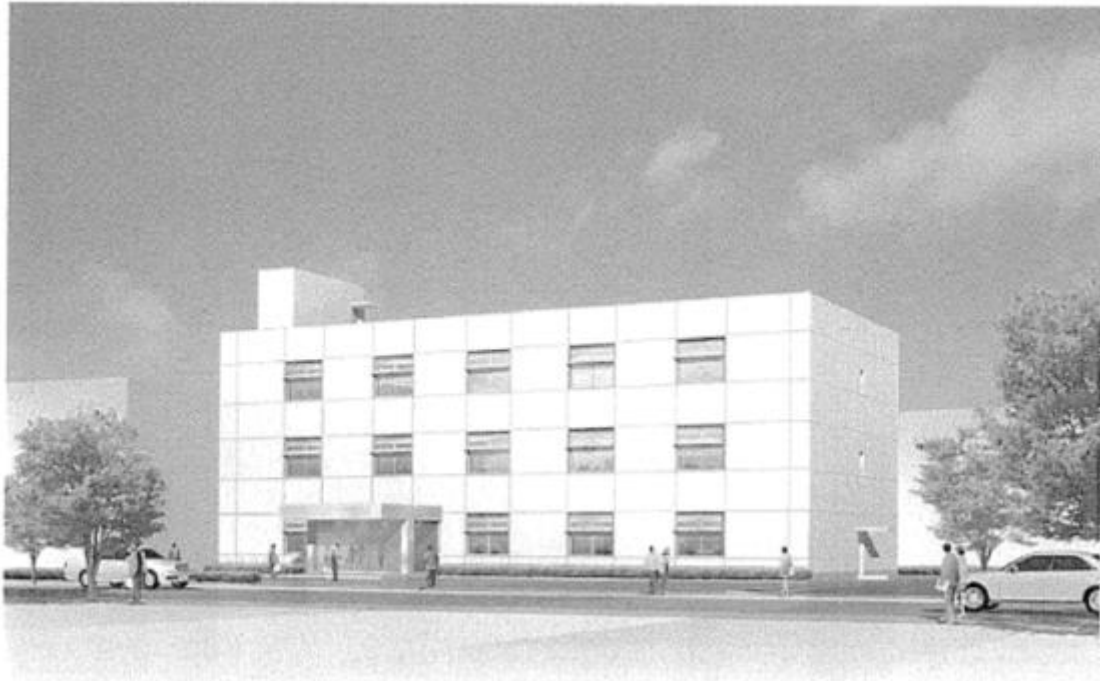


図 3-41 「官庁施設における木造耐火建築物の整備指針」におけるモデル (タイプ C)

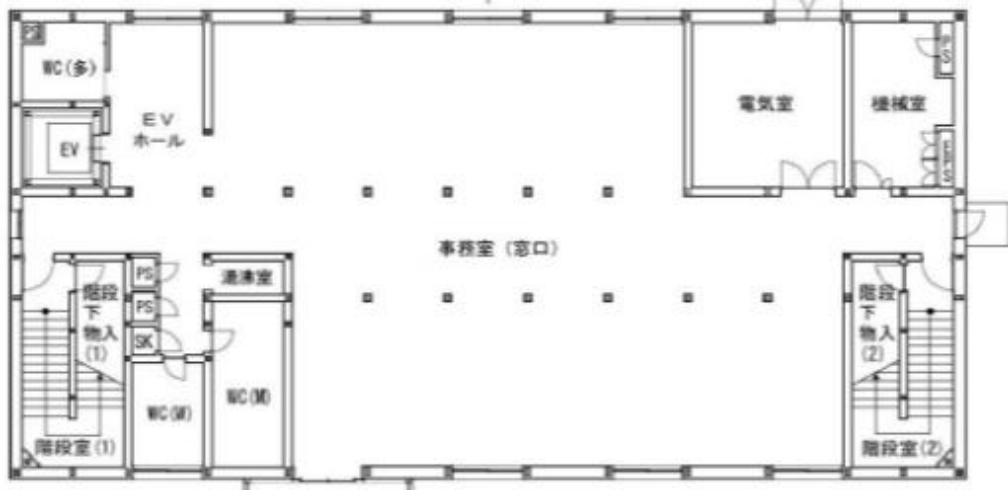


図 3-42 木造プラン (1F)

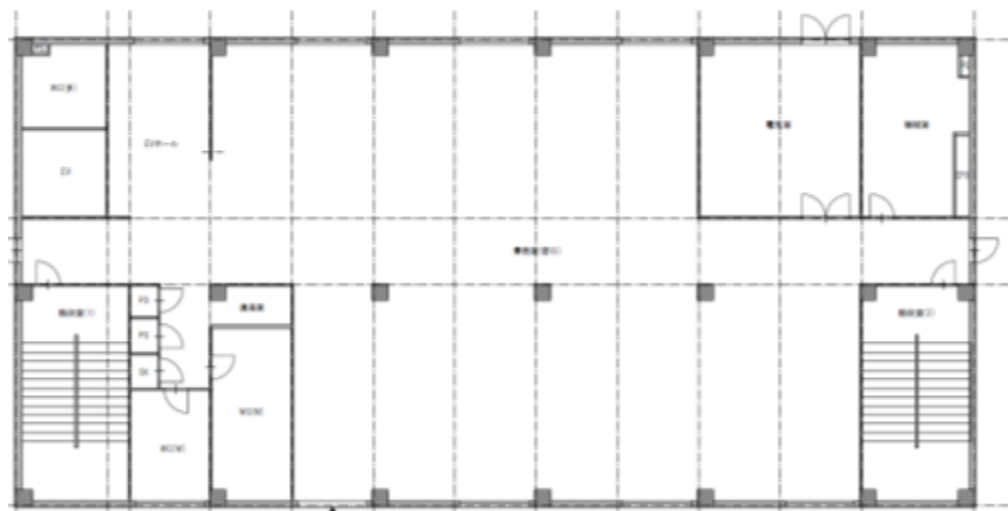


図 3-43 S造プラン (1F)

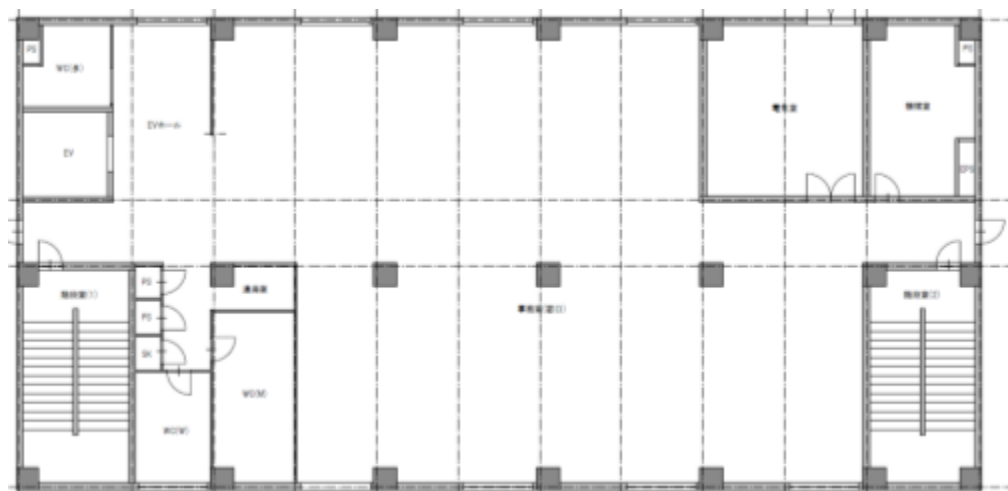


図 3-44 RC造プラン (1F)

エ) [参考] 設備計画の概要

建物タイプ		タイプC		
		設備概要	特徴	
階数		地上3階		
延べ面積		約15000㎡		
照明設備	事務室照度(LX)	750		
	照明器具形式	HI型埋込ルーパ(L5)付蛍光灯		
コンセント設備	配線方式	電線管		
	事務室コンセント数(個/㎡)	1個/8㎡		
非常用照明設備		電池内蔵		
受電設備	受電電圧(V)		6000	
	受電容量(kVA)	一般負荷	192(0.12×1600)	
		局部空調和	—	
		その他	7(エレベーター)	
	配電盤形式		モータール	
	操作方法		手動式	
変圧器種類		油入		
自家発電設備(kVA)		—		
太陽光発電設備(kW)		10	・W屋根上設置 設置面積90㎡、重量1.2t(本体1t+架台0.2t)	
通信設備・電話交換設備	警報設備	火災警知等設備	GP型	
		防犯設備	電線管	
	電話設備	電話用管路	電線管	
		電話交換機回路数	40	
		電話交換機種別	電子ボタン電話機	
	テレビ共同受信設備		UHF BS-110° CS	
電気時計設備	裏時計精度	水晶式		
	裏時計形式	壁掛け		
拡声設備	全館放送出力(W)	120		
空気調和・換気設備	空気調和	方式	マルチパッケージ形空調機+外気処理用パッケージ形空調機 (室内機:天井カセット形)	
		系統数(系統)	マルチ 4系統 (各階系統、外気処理PAC共)	
		フィルター	折込み形(中性能)	
	自動制御	省エネルギー対策	始動時外気取入制御	
	換気	給排風機系統	各階トイレ、湯沸室、更衣室等	
給排水・衛生設備	給水	上水	増圧直結給水方式	
		給水量	80L/人・日	
	衛生器具		トイレユニット対応	
	給湯	炊用給湯設備	電気式	
排水	方式	合流式		
消火設備	屋内消火栓		—	
エレベーター設備	乗用	種別	機械室なし、交流可変電圧可変周波数制御、新バリアフリー対応	
		積載量(kg)	900kg(13人乗)	
		速度(m/分)	45m/min	
		台数(台)	1台	

特徴:木造建築設計として配慮が必要な事項

オ) [参考] 内部仕上げの概要

	室名	床	幅木	壁	天井
1階	風除室	300角磁器質タイル	磁器質タイル	せっこうボード二重張り EP塗り	アルミニウム製スバンドレル
	事務室	タイルカーペット OAフロア	木製幅木	せっこうボード二重張り EP塗り 腰:木製羽目板	岩綿吸音板
	倉庫	ビニル床シート	ビニル幅木	せっこうボード二重張り EP塗り	けい酸カルシウム板 EP塗り
	電気室	RC直均し	RC幅木	グラスウールパネル 腰:RC 現し	グラスウールパネル
	機械室	RC直均し	RC幅木	グラスウールパネル 腰:RC 現し	グラスウールパネル
2階	事務室	タイルカーペット OAフロア	木製幅木	せっこうボード二重張り EP塗り 腰:木製羽目板	岩綿吸音板
	会議室	タイルカーペット OAフロア	木製幅木	せっこうボード二重張り EP塗り	岩綿吸音板
	倉庫(1)	ビニル床シート	ビニル幅木	せっこうボード二重張り EP塗り	けい酸カルシウム板 EP塗り
	倉庫(2)	ビニル床シート	ビニル幅木	せっこうボード二重張り EP塗り	けい酸カルシウム板 EP塗り
3階	事務室	タイルカーペット OAフロア	木製幅木	せっこうボード二重張り EP塗り	岩綿吸音板
	倉庫(1)	ビニル床シート	ビニル幅木	せっこうボード二重張り EP塗り	けい酸カルシウム板 EP塗り
	倉庫(2)	ビニル床シート	ビニル幅木	せっこうボード二重張り EP塗り	けい酸カルシウム板 EP塗り
共通	E V ホール	フローリング	木製巾木	せっこうボード二重張り EP塗り 腰:木製羽目板	岩綿吸音板
	男子トイレ	ビニル床シート	ビニル幅木	化粧けい酸カルシウム板 目透し張り	けい酸カルシウム板 EP塗り
	女子トイレ	ビニル床シート	ビニル幅木	化粧けい酸カルシウム板 目透し張り	けい酸カルシウム板 EP塗り
	多目的 トイレ	ビニル床シート	ビニル幅木	化粧けい酸カルシウム板 目透し張り	けい酸カルシウム板 EP塗り
	湯沸室	ビニル床シート	ビニル幅木	化粧けい酸カルシウム板 目透し張り	けい酸カルシウム板 EP塗り
	階段室 (1)	ビニル床シート	ビニル幅木	せっこうボード二重張り EP塗り	岩綿吸音板
	階段室 (2)	ビニル床シート	ビニル幅木	せっこうボード二重張り EP塗り	岩綿吸音板
	階段下 物入(1)	ビニル床シート	ビニル幅木	せっこうボード二重張り EP塗り	けい酸カルシウム板 EP塗り
	階段下 物入(2)	ビニル床シート	ビニル幅木	せっこうボード二重張り EP塗り	けい酸カルシウム板 EP塗り
	E V シャフト	塗膜防水	—	せっこうボード二重張り 現し	せっこうボード二重張り 現し
	PS EPS	RC直均し(1階) ボード現し(2、3階)	—	せっこうボード二重張り 現し	せっこうボード二重張り 現し

カ) [参考] 外部仕上げの概要 (上から木造、S造、RC造)

部 位	仕上・仕様
屋根・屋上	塩ビ系シート防水 (太陽光発電パネル設置)
外 壁	窯業系サイディング (通気工法) 下地: ALCパネルt=35
開口部	アルミニウム製建具 鋼製建具 ステンレス製自動ドア
軒 天	アルミニウム製スパンデレル けい酸カルシウム板
庇	アルミニウム製パネル
ポーチ	300角磁器質タイル

a. 鉄骨造

部 位	仕上・仕様
屋根・屋上	塩ビ系シート防水(太陽光発電パネル設置)
外 壁	吹付けタイル、下地:ALC パネル
開口部	アルミニウム製建具、鋼製建具、ステンレス製自動ドア

b. 鉄筋コンクリート造

部 位	仕上・仕様
屋根・屋上	塩ビ系シート防水(太陽光発電パネル設置)
外 壁	吹付けタイル、下地:鉄筋コンクリート躯体
開口部	アルミニウム製建具、鋼製建具、ステンレス製自動ドア

キ) インベントリデータ

建築物の LCCO<sub>2</sub> 算定のための排出原単位としては日本建築学会(AIJ)が公表している原単位が存在する。これは、産業連関表に基づき算出されたもので、建築物の評価に必要なものは特に細分化して検討したものとなっている。

本調査では網羅性を確保する観点から基本的には上記の原単位を利用することとする。

日本建築学会の作成した原単位は建築物用に詳細化されているものの、例えば石膏ボードに直接該当する原単位がない等、評価に当たってはまだ粗いところも多々存在する。このため、建築物の評価において大きな影響を与える重要な原単位に対して、主要な材料を直接評価できるような原単位を一部用意することとした。

上記の観点から下記のように新たに 13 種類の原単位を算出した。

表 3-44 建築物の評価のため新たに作成した原単位

AIJ-LCA原単位			新原単位		
名称	原単位	単位	名称	原単位	単位
合板	1.272	kg-CO <sub>2</sub> /kg	普通合板	0.72184	kg-CO <sub>2</sub> /kg
			特殊合板	1.751959	
			木質フローリング	2.537757	
			集成材	1.058599	
その他の木製品	2.182	kg-CO <sub>2</sub> /kg	パーティクルボード <sup>①</sup>	6.959355	kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>
その他の建設用土石製品	1.399	kg-CO <sub>2</sub> /kg	石こうボード <sup>②</sup>	2.370715	kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>
			普通れんが <sup>③</sup>	0.649416	kg-CO <sub>2</sub> /個
陶磁器	1.214	kg-CO <sub>2</sub> /kg	衛生陶器	0.004231	kg-CO <sub>2</sub> /円
セメント製品	0.342	kg-CO <sub>2</sub> /kg	ALCパネル	394.949	kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
			鉄筋コンクリート製品	0.868082	kg-CO <sub>2</sub> /kg
めっき鋼材	1.115	kg-CO <sub>2</sub> /kg	亜鉛めっき鋼板	2.037867	kg-CO <sub>2</sub> /kg
			熔融亜鉛めっき鋼板	2.436653	kg-CO <sub>2</sub> /kg
			電気亜鉛めっき鋼板	2.459713	kg-CO <sub>2</sub> /kg

イ) で積算した部材量に対し、原単位を次のように適用した。



表 3-45 木造・S造・RC造の部材使用量及び原単位

物件概要													
階数	地上3階、PH1階												
敷地面積	1000㎡												
建築面積	522㎡												
延べ面積	1541㎡												
項目	細目	部位等	数量			単位	備考	原単位コード	原単位名称	CO2原単位(物量)	機能単位		
			木造	S造	RC造								
直接仮設		遣り方	522.25	522.25	522.25	㎡		なし					
		墨出し	1541.00	1541.00	1541.00	㎡		なし					
		内部足場	1541.00	1541.00	1541.00	㎡		なし					
		養生ネット	1541.00	1541.00	1541.00	㎡		なし					
		一般養生	1541.00	1541.00	1541.00	㎡		なし					
		清掃	1541.00	1541.00	1541.00	㎡		なし					
		鉄骨足場	1528.53	1528.53	1528.53	㎡	期間1ヶ月	なし					
		水平養生ネット	1528.53	1528.53	1528.53	㎡		なし					
		建方時 養生ネット	1521.78	1521.78	1521.78	㎡		なし					
		地足場	522.25	522.25	522.25	㎡		なし					
		枠組本足場	1707.85	1707.85	1707.85	㎡	※直接仮設の数量は床面積で算出している	なし					
土工	土工	根切り、総堀機械	611.03	1186.69	1076.30	㎡		なし					
		床付け、総堀	574.48	1115.71	1011.92	㎡		なし					
		埋戻し、搬入土使用	183.31	587.69	95.18	㎡		なし					
		残土処分	611.03	1186.69	1076.30	㎡		なし					
		砕石地業、新材	57.45	58.49	51.27	㎡		なし					
		断熱材：ポリスチレンフォーム25mm	9.14	9.14	9.14	㎡		なし					
		防湿フィルム0.15mm	0.05	0.05	0.05	㎡		なし					
		捨てコンクリートFc18、S-15	28.72	29.25	25.64	㎡		なし					
		山留・棧橋	山留面積	106.94	214.18	194.26	㎡	親杭横矢板	なし				
		基礎躯体	基礎コンクリート	Fc24	793.91	867.20	952.66	t		2522011	生コンクリート	0.2996832	kg
			鉄筋	SD295A,SD345	40.39	44.12	46.75	t		2621014	普通鋼小棒	0.710107307	kg
型枠	普通合板型枠		10.31	11.26		㎡	RC造は地上躯体に含む	1611021	合板	1.0657842	kg		
地上躯体		柱	23.37			㎡	木材	1611011	製材	0.40658	kg		
		梁、桁	99.16			㎡	木材	1611011	製材	0.40658	kg		
		ささら桁	4.21			㎡	木材	1611011	製材	0.40658	kg		
		土台	2.29			㎡	木材	1611011	製材	0.40658	kg		
		構造用合板24mm	118.77			㎡		1611021	合板	1.0657842	kg		
		鉄骨		142.79		t		2621012	普通鋼鋼板	1.539394993	kg		
		デッキプレートEZ50		18.84		t		-	-	-	-		
		デッキ上コンクリート		351.35		t		2522011	生コンクリート	0.2996832	kg		
		パラベットコンクリート		7.89		t		2522011	生コンクリート	0.2996832	kg		
		鉄筋		7.85	91.24	t		2621014	普通鋼小棒	0.710107307	kg		
		柱脚鉄筋		10.68		t		2621014	普通鋼小棒	0.710107307	kg		
		パラベット鉄筋		0.31		t		2621014	普通鋼小棒	0.710107307	kg		
		躯体コンクリート：Fc24			1545.83	t		2522011	生コンクリート	0.2996832	kg		
		普通合板型枠			85.23	㎡	基礎躯体含む	1611021	合板	1.0657842	kg		
外部仕上げ	屋根・屋上	塩ビ系シート防水	1.15	1.15	1.15	㎡	厚2mm	2211011	プラスチックフィルム・シート	2.3041152	kg		
		硬質ホモセメント板25mm	1.26	1.26	1.26	㎡		1619091	建設用木製品	0			
		アルミニウム製笠木W=300mm	100.78	100.78	100.78	m		1619091	建設用木製品	0			
		パラベット下地木材	2.36			㎡		1619091	建設用木製品	0			
		パラベット下地鋼材		7.23		㎡		2812011	建築用金属製品	4.6204746	kg		
		モルタル		23.36	23.36	t		2599021	その他の建設用土石製品	0.3636125	kg		
		窯業系サイディング14mm	15.68			㎡		2599021	その他の建設用土石製品	0.3636125	kg		
		ALCパネル35mm	39.20			㎡		2599021	その他の建設用土石製品	0.3636125	kg		
		透湿防水シート0.2mm	0.22			㎡		-	-	-	-		
		外壁下地木材	14.23			㎡	間柱 等	1619091	建設用木製品	0			
		吹付けタイル		2240.00	2240.00	kg	2.0kg/㎡	2599021	その他の建設用土石製品	0.3636125	kg		
		ALCパネル100mm		112.00		㎡		2599021	その他の建設用土石製品	0.3636125	kg		
		外部開口部	アルミサッシ	165.00	165.00	165.00	㎡	鋼製建具、ステンレス製自動ドア含む	2722021	アルミ圧延製品	9.3655933	kg	

物件概要											
階数	地上3階、PH1階										
敷地面積	1000㎡										
建築面積	522㎡										
延べ面積	1541㎡										
項目	細目	部位等	数量			単位	備考	原単位コード	原単位名称	CO2原単位(物量)	機能単位
			木造	S造	RC造						
内部仕上げ	内部床	OAフロアH=100mm	1473.00	1473.00	1473.00	㎡	タイルカーペット、フローリング、ビニル床シート含む	2211012	プラスチック板・管・棒	1.815625	kg
		構造用合板12mm	17.68			㎡		1611021	合板	1.0657842	kg
		強化せつこうボード21mm	30.93			㎡		2599021	その他の建設用土石製品	0.3636125	kg
		強化せつこうボード21mm	30.93			㎡		2599021	その他の建設用土石製品	0.3636125	kg
		床下地木材	22.91			㎡	根太、受材等	1619091	建設用木製品	0	
	内部壁(外壁部)	塗装EP	817.50	817.50	817.50	kg	0.5kg/㎡	2072011	塗料	2.1886404	kg
		強化せつこうボード21mm	34.34			㎡		2599021	その他の建設用土石製品	0.3636125	kg
		アルミはく張ガラス繊維クロス0.15mm	0.25			㎡		-	-	-	-
		強化せつこうボード15mm	24.53			㎡		2599021	その他の建設用土石製品	0.3636125	kg
		グラスウール16K100mm	163.50			㎡		1519099	その他の繊維工業製品	3.4999404	m2
		せつこうボード12.5mm		20.44	20.44	㎡		2599021	その他の建設用土石製品	0.3636125	kg
		内部壁下地鋼材		17.73		t	LGS	2812011	建築用金属製品	4.6204746	kg
		グラスウール24K65mm		106.28		㎡		1519099	その他の繊維工業製品	3.4999404	m2
		GLボンド			6.71	㎡		2521011	セメント	0.7458164	kg
		ウレタン吹付け40mm			29.95	㎡		2211013	プラスチック発泡製品	3.2456373	kg
	内部壁(階段、EV周囲)	塗装EP	243.00	243.00	243.00	kg	0.5kg/㎡	2072011	塗料	2.1886404	kg
		せつこうボード9.5mm	4.62	4.62		㎡		2599021	その他の建設用土石製品	0.3636125	kg
		せつこうボード12.5mm	6.08	6.08	6.08	㎡		2599021	その他の建設用土石製品	0.3636125	kg
		内部壁下地木材	5.26			㎡	間柱等	1619091	建設用木製品	0	
		内部壁下地鋼材		2.64		t	LGS	2812011	建築用金属製品	4.6204746	kg
		GLボンド			2.10	㎡		2521011	セメント	0.7458164	kg
	内部壁(遮音間仕切壁)	塗装EP	289.44	289.44	289.44	kg	0.5kg/㎡	2072011	塗料	2.1886404	kg
		せつこうボード9.5mm	5.50	5.50	5.50	㎡		2599021	その他の建設用土石製品	0.3636125	kg
		強化せつこうボード21mm	12.16	12.16	12.16	㎡		2599021	その他の建設用土石製品	0.3636125	kg
		グラスウール10K50mm	14.47	14.47	14.47	㎡		1519099	その他の繊維工業製品	3.4999404	m2
		内部壁下地木材	5.26			㎡	間柱等	1619091	建設用木製品	0	
		内部壁下地鋼材		3.14	3.14	t	LGS	2812011	建築用金属製品	4.6204746	kg
	内部壁(間仕切壁)	塗装EP	65.21	65.21	65.21	kg	0.5kg/㎡	2072011	塗料	2.1886404	kg
		せつこうボード12.5mm	3.26	3.26	3.26	㎡		2599021	その他の建設用土石製品	0.3636125	kg
		内部壁下地木材	5.26			㎡	間柱等	1619091	建設用木製品	0	
		内部壁下地鋼材		1.41	1.41	t	LGS	2812011	建築用金属製品	4.6204746	kg
	内部天井	ロックウール吸音板12mm	17.68	17.68	17.68	㎡		2599099	その他の窯業・土石製品	0.110544	kg
		強化せつこうボード21mm	30.93			㎡		2599021	その他の建設用土石製品	0.3636125	kg
		強化せつこうボード、ガラス網入り15mm	22.10			㎡		2599021	その他の建設用土石製品	0.3636125	kg
		強化せつこうボード21mm	30.93			㎡		2599021	その他の建設用土石製品	0.3636125	kg
		グラスウール16K180mm	93.96			㎡		1519099	その他の繊維工業製品	3.4999404	m2
		天井下地木材	39.74			㎡	野縁、野縁受、吊木等	1619091	建設用木製品	0	
		せつこうボード9.5mm		13.99	13.99	㎡		2599021	その他の建設用土石製品	0.3636125	kg
		天井下地鋼材		2.09	2.09	t	LGS	2812011	建築用金属製品	4.6204746	kg
		グラスウール24K150mm		78.30		㎡		1519099	その他の繊維工業製品	3.4999404	m2
		ウレタン吹付け85mm			54.37	㎡		1619091	建設用木製品	0	
	幅木	ビニル幅木H=60mm	0.03	0.03	0.03	㎡	厚2mm	2211012	プラスチック板・管・棒	1.815625	kg
	内部開口部	スチールドア	139.00	139.00	139.00	㎡		2812011	建築用金属製品	4.6204746	kg
	耐火被覆(鉄骨)	ロックウール吹付け25mm		15.90		㎡		2599099	その他の窯業・土石製品	0.110544	kg
		ケイ酸カルシウム板20mm		5.43		㎡		2029099	その他の無機化学工業製品	0.319274	kg
項目	部位等	数量				単位	備考				
			木造	S造	RC造						
屋内階段	カーペット	0.70			0.70	㎡		1519021	じゅうたん・床敷物	8.4254157	kg
	モルタル		6.85		6.85	t		2523011	セメント製品	0.463799	kg
	鉄骨		13.89			t		2621012	普通鋼鋼板	1.539394993	kg
	手すり木材	0.06	0.06		0.06	㎡		1619091	建設用木製品	0	
	手すり鋼材		0.49		0.49	t		2812011	建築用金属製品	4.6204746	kg

ク) 耐用年数等の条件設定

躯体の耐用年数は60年間とし、外部仕上げ、内部仕上げの修繕率等は日本建築学会 LCA ツールに準拠し、下記の通り設定した。

表 3-46 耐用年数等の設定条件

			建物評価用LCAデータベース		設定条件		
			複合原単位		修繕率 /年 基準	更新回数	
工事科目・細目			コード	仕様		回/評価期間 基準	対策
1. 直接仮設			1.0-01	直接仮設	0%		
2. 土工・地業							
2.1 土工事	発生土搬出	2.1-01	残土		0%		
	汚泥処理	2.1-02	汚泥(泥水)		0%		
2.2 杭・基礎	既製杭				0%		
	現場打杭	2.2-01	現場打RC杭(ポルトランド) Fc24N/mm2		0%		
	現場打杭	2.2-11	現場打RC杭(B種高炉) Fc24N/mm2		0%		
3. 躯体							
3.1 コンクリート		3.1-01	コンクリート(ポルトランド) Fc24N/mm2		0%		
		3.1-11	コンクリート(B種高炉) Fc24N/mm2		0%		
3.2 型枠		3.2-01	型枠		0%		
3.3 鉄骨		3.3-01	鉄骨		0%		
		3.3-09	雑鉄骨		0%		
3.4 鉄筋		3.4-01	鉄筋		0%		
3.9 その他					0%		
4. 外部仕上げ							
4.1 屋根	歩行防水	4.1-01	屋根 歩行防水 (断熱材を除く)		0%	1	2
	露出防水	4.1-21	屋根 露出防水 (断熱材を除く)		0%	1	2
4.2 外壁	タイル	4.2-23	外壁仕上 モルタル+2丁掛タイル		1%	1	2
	複層仕上塗材	4.2-24	外壁仕上 吹付タイル		2%	2	4
4.3 外部開口部	金属製建具	4.3-01	アルミサッシ+ガラス10mm(単層-FIX)		1%	1	2
4.4 断熱	屋根	4.4-02	断熱材 スタイロフォーム 25t		0%	1	2
	外壁	4.4-02	断熱材 スタイロフォーム 25t		0%	1	2
5. 内部仕上げ							
5.1 内部床	フローリング	5.1-41	床仕上 フローリング		2%	2	4
	カーペット	5.1-11	床仕上 タイルカーペット		5%	2	4
	ビニルタイル、シート	5.1-22	床仕上 ソフトタイル		2%	2	4
	タイル	5.1-02	床仕上 大型タイル		2%	2	4
	塗装	5.1-31	床仕上 塗装(エポキシ系)		2%	2	4
	OAフロア	5.1-12	床仕上 OAフロア(セメント)		2%	2	4
	コンクリート打増	5.1-32	床仕上 コンクリート打増(ポルトランド)		0%	1	2
		5.1-33	床仕上 コンクリート打増(高炉セメント)		0%	1	2
5.2 内壁	石膏ボード	5.2-21	壁下地 PB (GL工法)		2%	2	4
	タイル	5.2-13	壁仕上 タイル		2%	1	2
	塗装	5.2-11	壁仕上 塗装		2%	2	4
	間仕切	5.2-31	間仕切下地 LGS+PB(両面)		2%	2	4
5.3 内部開口部	金属製建具	5.3-01	スチール扉		2%	1	2
	木製建具	5.3-02	木製扉		2%	1	2
	ガラス	5.3-03	ガラス10mm		2%	1	2
5.4 天井	岩綿吸音板	5.4-02	天井 吊材+PB+岩綿吸音板		2%	1	2
	石膏ボード	5.4-21	天井下地 吊材+PB		2%	1	2
	塗装	5.4-11	天井仕上 塗装		2%	2	4
	アルミパネル	5.4-31	天井下地 吊材+アルミパネル		2%	1	2
5.5 断熱・吸音	外床	5.5-02	断熱材 スタイロフォーム 25t		2%	1	2
	機械室吸音	5.5-22	断熱材 GW 50t		2%	1	2

### c. 評価結果

オフィスにおける木造・S造・RC造のLCCO<sub>2</sub>排出量比較結果を下記に示す。

木造、S造、RC造の順にLCCO<sub>2</sub>排出量が低く抑えられており、特に木造においては、資材製造におけるCO<sub>2</sub>排出量の削減効果が大きく寄与している。また、木材は鉄骨やコンクリート等と比べて部材の重量が軽いため、建設工事や改修工事においてCO<sub>2</sub>排出量が若干低くなっている。

また、使用時においては、構造種によらず同一の外皮等の断熱性能、設備の機器効率を設定しているため、使用時CO<sub>2</sub>排出量は差がつかないが、木材は熱容量が比較的小さいことから、時刻別熱負荷シミュレーション等を実施することにより、空調立ち上げ時のエネルギー消費量削減効果等が得られる可能性がある。

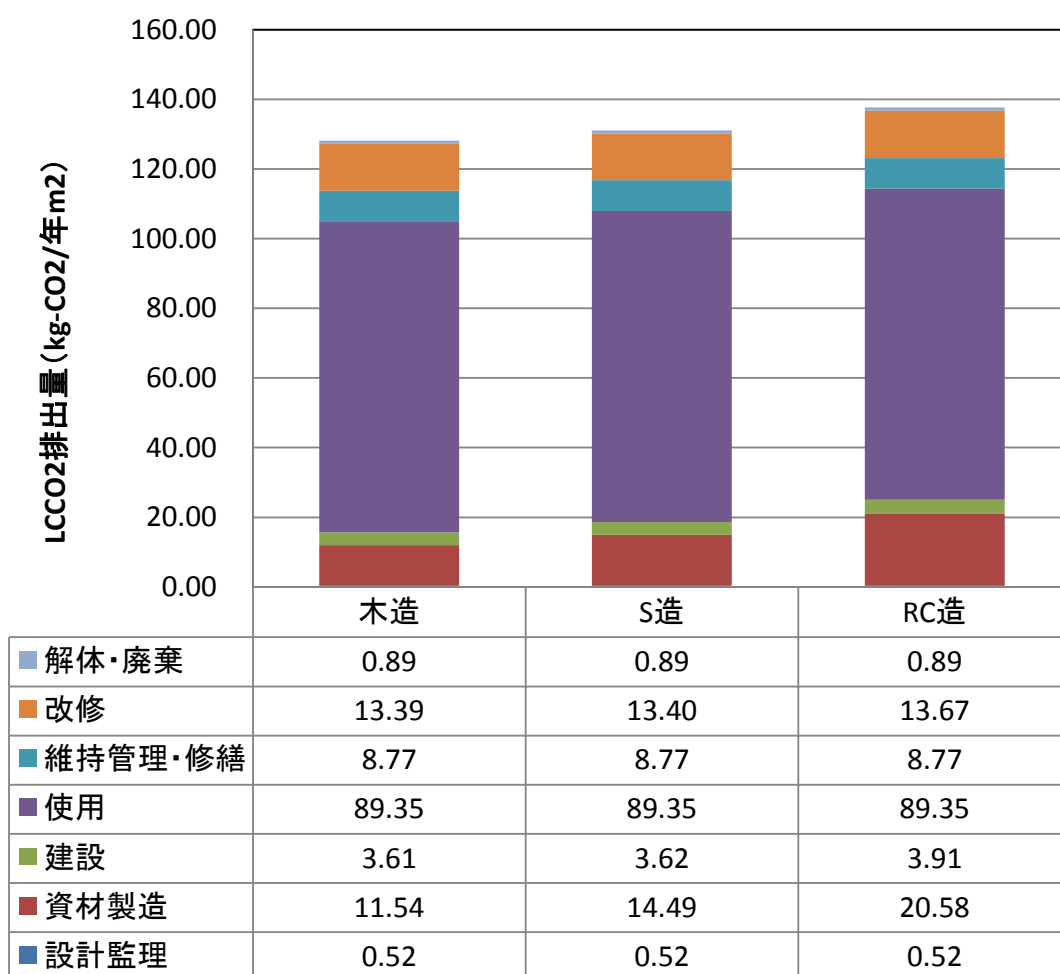


図 3-45 オフィスの構造別 LCA 比較結果

## (2) 内装材・建具

### 1) 基本方針

3.1.3(1) 1) で設定した住宅標準モデルの仕様に基づき、断熱性の違いによる使用時 CO2 排出量の差異を評価することを主目的として評価を実施する。ただし、素材を変更したことによる部材製造等の排出量については使用時排出量の削減貢献を減少させていないかを確認するために簡易的に評価を実施する。

寸法は木製・非木製で共通となるよう設定するが、断熱性能は部材特性に応じて木製・非木製でそれぞれ設定する。ただし、部材の断熱性能が同じであれば使用時 CO2 排出量も同じとする。施工の違いや材料による蓄熱の違いは考慮しない。なお、耐久性等の機能・性能を厳密に合わせることは難しいため、市場で直接代替できるものとなっているとは限らない点には留意が必要である。

また、断熱性能や重量等のデータは原則市販品の情報を収集する。標準モデルと合致する既存の市販品がない場合は、最も当てはまりのよい類似の市販品の性能情報を活用するが、より精緻な評価が必要な場合には、性能試験を実施しその結果を活用する。

### 2) 評価対象

木材と代替製品がともに使用しうる断熱性に影響を与える代表的な内装材・建具として、窓枠、玄関ドア、内壁を対象とした。

### 3) 評価方法

住宅標準モデルの仕様に基づき、サイズ等を設定し、断熱性の違いによる使用時排出量（建物の空調負荷によるもの）の違いをシミュレーションにより求めて比較した。それに加え、素材を変更したことによる部材製造等の排出量変化を見るため、排出量の多い部材調達（窓枠、玄関ドア、内壁の施工現場への輸送まで）の排出量を簡易的に比較した（重量と原単位から推定）。なお、施工時、廃棄時の排出量にも変化は発生するが、全体から見ると排出量が小規模のため、検討対象外とした。

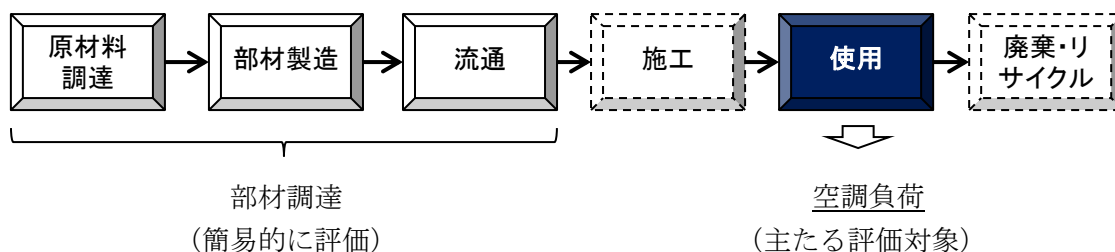


図 3-46 評価方法（窓枠、玄関ドア、内壁）

部材調達の排出量評価に当たっては、原単位を用いる必要があるが、本調査で必要となる以下のような部材調達の原単位を追加した。ただし、精度は低いため使用には注意が必要であり、本調査ではあくまで使用時排出量の変化に対する部材調達の排出量変化の規模

を把握するために使用することとする。

表 3-47 内装材・建具の評価のため新たに作成した部材調達時の原単位

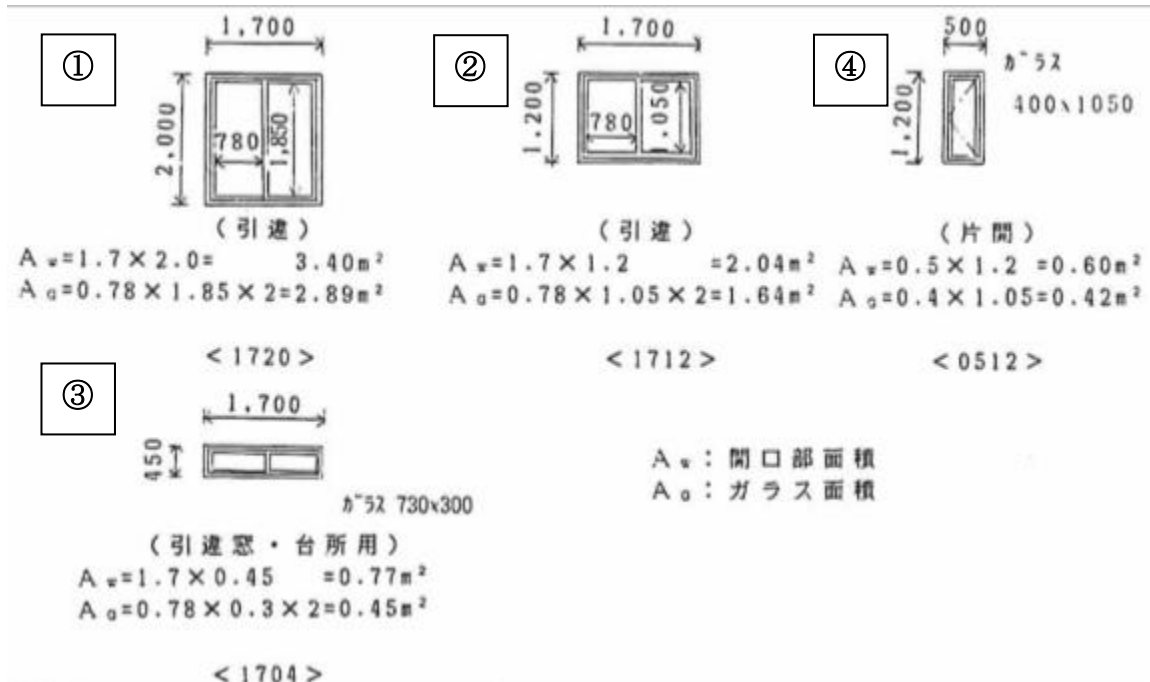
名称	値	単位
金属製サッシ・ドア	7.33	kg-CO2/kg
アルミニウム製サッシ	7.77	kg-CO2/kg
アルミニウム製ドア	10.14	kg-CO2/kg

なお、評価に当たっては、素材の違いを直接反映できるよう、できるだけ単一の素材を用いた製品を評価対象として比較した。ただし、市販されている様々な製品は、耐久性等を考慮して断熱性が低い素材を用いていても実際には製品全体として断熱性等の性能を確保するように設計・製造されている。それらの素材を用いた製品が必ずしもその素材の性能をそのまま反映した形で用いられているわけではない点には留意が必要である。

#### 4) 窓枠

##### a. 標準仕様

日本建築学会の住宅標準モデルにおける窓枠を引用する。同モデルでは、下記の 4 種類の窓が用いられており、それぞれの寸法等を下記に示す。



No.	開口部サイズ	ガラスサイズ	種類	場所
①	W1700×H2000	W780×H1850×2	引き違い窓	和室・居間
②	W1700×H1200	W780×H1050×2	引き違い窓	主寝室・子供部屋・予備室

③	W1700×H450	W730×H300×2	引き違い窓	台所
④	W500×H1200	W400×H1050	片開き窓	居間・主寝室・子供部屋等

図 3-47 住宅標準モデルにおける窓の種類及びサイズ

出所) 宇田川光弘「標準問題の提案 (住宅用標準問題)」社団法人日本建築学会, 環境工学委員会, 熱分科会第 15 回シンポジウム,1985

比較対象とする材料の種類は、アルミサッシ及び樹脂サッシで、窓ガラスの条件は共通 (ペアガラス：ガラス 3mm+中空 6mm+ガラス 3mm) とする。

## b. 評価方法

### ア) 窓の断熱性能

使用時排出量を評価するためには、まず窓枠を含む窓の断熱性能を評価する必要がある。窓の断熱性能の評価方法として、下記の方法が挙げられる。

- (a) 既存の市販品のカタログ値から引用
- (b) 計算ソフトウェア (貫流熱解析プログラム TB2D/BEM<sup>2</sup>、WindEye<sup>3</sup>等) により評価
- (c) JIS 規格 (JIS A 4706-2000) に基づく断熱性能試験により評価

このうち、(b) 計算ソフトウェアによる評価については、WindEye(Ver.3) (<http://www.alianet.org/windeye/>)を用いて任意のサイズの窓の熱貫流率を計算することができる。このため、アルミサッシおよび樹脂サッシについて、WindEye(Ver.3)を用いて該当サイズの窓の熱貫流率を計算した。ここで、WindEye は一般社団法人リビングアメニティ協会 (ALIA)が公開する窓の総合熱性能評価プログラムであり、同会に製品ごとに登録を申請し、窓の熱性能審査委員会が審査の上、プログラムにデータを登録しており、登録された製品について計算可能となっている。

一方、木製サッシについては、同プログラムに製品の登録がない。これは、工業製品として生産されている木製サッシが (国産品としては) ないことによる。一般社団法人リビングアメニティ協会と協議した結果、ソフトウェアの利用や成果公表にあたっては製品を同協会に登録する前提で「窓の熱性能審査委員会」を経る必要があり、同ツールを用いた評価は困難であった。その他、全国木製サッシ工業会にも問い合わせを行い木製サッシのシミュレーションによる計算の可能性も探したが、そのようなツールはない。このため、木製サッシについては、一部製品について試験を行い、その結果から本調査における熱貫流率を設定することとした。

<sup>2</sup> TB2D/BEM：境界要素法による 2次元定常伝熱計算プログラムで、サッシ断面の CAD データから 2次元壁体を貫流する総熱流量及びその表面での温度と熱流を計算することが可能である。窓の熱性能計算法の規格に JIS A 2102 があるが、TB2D/BEM が JIS A 2102 に適合していることが一般財団法人建材試験センターの試験によって証明されている一般社団法人リビングアメニティ協会所管。

<sup>3</sup> 窓全体 (窓枠+ガラス) の断熱性能を計算可能なソフトウェア。サッシ、板ガラスを任意に組み合わせたときの窓の熱還流率を任意の窓サイズで計算可能。所管同上。

## アルミサッシ及び樹脂サッシ

アルミサッシおよび樹脂サッシはシミュレーション結果を用いて WindEye(Ver.3)で該当サイズの窓の熱貫流率を計算した。

### 【JIS A 2102に基づくシミュレーションの概要】

各種の住宅における省エネルギー政策が進められる中で、とくに断熱性に寄与する材料（断熱材、窓、ドア等）の正確な性能の把握が求められる。しかし、同じ構造を持つ製品でも寸法の違いによって断熱性能（熱貫流率）が異なることから、すべての製品について大掛りな試験装置を用いて試験を実施することは現実的に困難である。このため、試験方法を規定した JIS A 4710 に加えて熱貫流率の計算方法が規格化された。ISO 10077 を基礎としつつ日本国内事情に合わせた改修がなされたもので 2 部構成になっている。第 1 部では一般的事項、第 2 部では金属や木のフレームの数値計算方法の基本的な条件を規定しており、それぞれ以下のような内容となっている。

### 【第 1 部】

グレージングとフレームを組み合わせた窓としての熱貫流率の計算を行うための規格である。このため、それぞれの部分の面積の取り方が重要な問題であり、これらについての規程が本文の大半を占めている。なお、表面熱伝達抵抗やグレージングの熱抵抗の算出法、あるいは錠やポスト口の扱いといった細かな部分については附属書で規定されている。

### 【第 2 部】

フレーム型材の熱貫流率、グレージング又は不透明パネルとフレーム型材との接合部の線熱貫流率、錠又はポスト口の点熱貫流率に関する計算方法を規定している。計算は、ISO 10211 に適合する 2 次元数値計算方法を用いることになっている。この計算には通常、専用の計算プログラムが必要となり、またフレーム型材等の正確な断面図が必要となる。我が国ではこの計算を行うソフトウェアとしては、代表的なものとしてリビングアメニティー協会（ALIA）が提供する”TB2D/BEM”がある。

計算に当たっての前提条件は以下のようにおいた。

- ✓ 計算対象：一般窓
- ✓ 建築工法：木造住宅の場合と非木造住宅の場合の二通りを選択
- ✓ 計算種類：断熱計算（遮熱計算は含まず）
- ✓ フレームメーカー：YKK AP、LIXIL、三協立山の 3 社製品を選択
- ✓ ガラス：旭硝子の 3+A6+3…透明複層ガラス（ペアガラス（フロート））  
※ガラス熱貫流率（参考）は  $3.3\text{W/m}^2\text{K}$
- ✓ フレームの色：ブラック
- ✓ フレームの種類：アルミニウムと樹脂の二通りを選択
- ✓ 納まり枠の種類：
  - テラス：半外付枠（木造住宅）、RC 枠（非木造住宅）
  - マド：半外付/2×4 枠（木造住宅）
- ✓ アングルの種類：アングル付



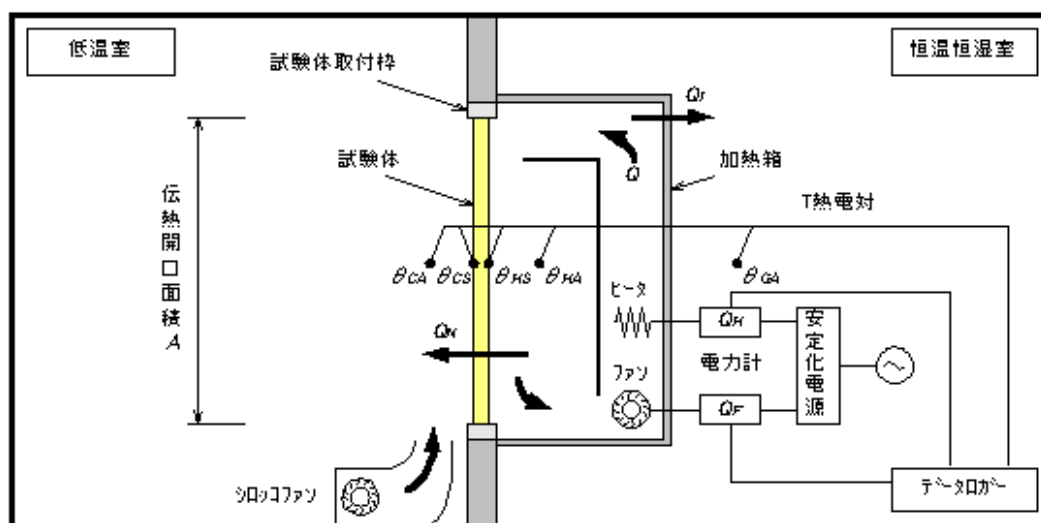
## 木製サッシ

木製サッシはシミュレーション結果から熱貫流率を設定することが難しかったことから、JIS A 4706 に基づき試験を実施した。試験の対象は①和室・居間：W1700×H2000 引き違い窓と②主寝室・子供部屋・予備室：W1700×H1200 引き違い窓の2種類である。

### 【JIS A 4706 に基づく試験の概要】

この試験方法は校正熱箱法と呼ばれる手法である。サッシ・ドアセットの断熱性試験方法が規定されている。窓やドア等の開口部は壁、屋根などに比べ断熱性が低く、試験体表面の熱伝達抵抗の大小が測定結果に及ぼす影響が大きいため、表面熱伝達抵抗の校正方法などが細かく規定されたものとなっている。温度が異なる2室の恒温室を用いて試験体の両側に温度差を設けることから、試験装置は大掛りなものとなる。

試験手順は、まず、熱伝導率が既知の標準板を仕切りとして設置し、低温室を0℃、加熱箱・恒温室を20℃に設定する。そして、両室の表面熱伝達抵抗値が、定められた値となるようにファンを調整した上で、標準板と試験体を取り替える。その後、ファンの設定を変えずにヒーターの熱量補給調整により、低温室0℃、加熱箱・恒温室20℃の安定した状態となるようにする。この際、試験体を通過する熱量、すなわち、ヒーターとファンの補給熱量を求め、熱貫流抵抗 (R 値) および熱貫流率 (K 値) を算出する。



出典：一般財団法人建材試験センター

断熱性能試験にあたっては、試験体の製作は日本木製サッシ工業会から紹介のあったユニウッド株式会社（国産スギ積層材を利用した木製サッシの製作実績多数）が、断熱性能試験はベタリービングつくば建築試験センターがそれぞれ担当し、2月26～28日にかけて試験を実施した。



図 3-48 製作した木製サッシの外観



図 3-49 断熱性能測定試験機（可変高温試験室）

#### イ) 使用時排出量

以上で求めた窓の断熱性能を用いて、運用時の空調負荷における CO<sub>2</sub> 排出量を計算した。

ここでは、京都府立大学の尾崎明仁教授が開発した室内温湿度環境と空調負荷のシミュレーションを行う熱負荷計算ソフト **THERB** を用いて年間のエネルギー消費量を算出した。そして、その値に対して東京電力の CO<sub>2</sub> 排出量原単位を掛け合わせることで、年間の空調負荷における CO<sub>2</sub> 排出量を算出した。主なシミュレーション条件を表 3-48 に示す。

表 3-48 内装材・建具に関する空調負荷のシミュレーション条件

所在地	東京	空調 条件	夏季
家族構成	夫婦（共働き） 子供二人		6月1日～8月31日 L/D 7:00-9:00 15:00-23:00
間取り	日本建築学会 標準住宅モデル		和室 7:00-9:00 15:00-23:00 主寝室 23:00-7:00

仕様	断面詳細図参照		洋室 1,2 23:00-7:00
延べ床面積	126m <sup>2</sup>		冬季 12月1日～2月28日 L/D 7:00-9:00 15:00-23:00 和室 7:00-9:00 15:00-23:00 主寝室 23:00-7:00 洋室 1,2 23:00-7:00
外皮表面積	332m <sup>2</sup> (RC造のみ 298m <sup>2</sup> )		
換気回数	0.5回/h		
室内扉熱貫流率 W/(m <sup>2</sup> /K)	2.91 (木製) <sup>1)</sup>		
気象条件	拡張アメダスデータ (東京)		

<参考文献>

1) 「特定建築物（住宅）の省エネ措置の届出ガイド」, 建築環境・省エネルギー機構, 2009

#### ウ) 部材調達時排出量

部材重量については、断熱性を計算した3社（YKK AP、LIXIL、三協立山）の代表的製品の重量（窓の枠部分及び障子部分の合計）の平均値を採用することとした。木製サッシについては別途重量が把握できる製品の重量を把握して設定した。なお、該当サイズの製品が無い場合には、類似製品のサイズから比例計算して重量を推計した。

表 3-49 素材別種類別の窓枠の重量

単位：kg

素材	①	②	③	④
アルミ	18	11	8	6
樹脂	26	17	14	6
木製	59	44	29	21

また、原単位は以下の数値を用いた。

表 3-50 素材別窓枠の原単位（部材調達まで）

項目	アルミサッシ	樹脂サッシ	木製サッシ
原単位 (kgCO <sub>2</sub> /kg)	7.77 <sup>1)</sup>	4.886 <sup>2)</sup>	2.921 <sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> 日本建築学会の原単位から算出（アルミニウム製サッシ）

<sup>2)</sup> LCA データベース（日本建築学会、2013年6月25日）の原単位（強化プラスチック製品）

<sup>3)</sup> LCA データベース（日本建築学会、2013年6月25日）の原単位（木製建具）

### c. 評価結果

#### ア) 窓の断熱性能

#### アルミサッシ及び樹脂サッシ

アルミサッシ及び樹脂サッシの窓種ごとの熱貫流率の計算結果を示す。

表 3-51 和室・居間：W1700×H2000 引き違い窓（単体）（2枚引き）（テラス）

製品	素材	木造住宅	非木造住宅
YKKAP エイピア J	アルミ	4.23	—
YKKAP EXIMA31（ガスケット仕様）※	アルミ	—	4.33
LIXIL サーモスⅡS	アルミ	3.86	—
LIXIL デュオ PG	アルミ	4.12	—
LIXIL 防火戸 FG-S	アルミ	3.95	—
三協立山 マディオ P	アルミ	4.16	—
YKKAP APW331	樹脂	3.30	—

※住宅用の窓サッシとしては通常は用いられない商品であるが、ここでは木造以外の製品が登録されていないため、代用する。

表 3-52 主寝室・子供部屋・予備室：W1700×H1200 引き違い窓（単体）（2枚引き）（窓）

製品	素材	木造住宅	非木造住宅
YKKAP エイピア J	アルミ	4.30	—
YKKAP EXIMA31（ガスケット仕様）※	アルミ	—	4.33
LIXIL 防火戸 FG-S	アルミ	4.01	—
LIXIL デュオ PG	アルミ	4.16	—
LIXIL サーモスⅡS	アルミ	3.95	—
三協立山 マディオ P	アルミ	4.19	—
YKKAP APW330	樹脂	3.14	—

※住宅用の窓サッシとしては通常は用いられない商品であるが、ここでは木造以外の製品が登録されていないため、代用する。

表 3-53 台所：W1704×H400 引き違い（マド）

製品	素材	木造住宅	非木造住宅
YKKAP エイピア J	アルミ	5.47	—
YKKAP EXIMA31（ガスケット仕様）※	アルミ	—	5.07
LIXIL 防火戸 FG-S	アルミ	4.90	—
LIXIL デュオ PG	アルミ	5.04	—
LIXIL サーモスⅡS	アルミ	4.71	—
三協立山 マディオ P	アルミ	5.04	—
YKKAP APW330	樹脂	2.90	—

※住宅用の窓サッシとしては通常は用いられない商品であるが、ここでは木造以外の製品が登録されていないため、代用する。

表 3-54 居間・主寝室・子供部屋：W500×H1200 たてすべり出し（開き）（マド）

製品	素材	木造住宅	非木造住宅
YKKAP エイピア J（カムラッチ仕様）	アルミ	4.62	—
YKKAP EXIMA31（ガスケット仕様）※	アルミ	—	4.45

製品	素材	木造住宅	非木造住宅
LIXIL デュオ PG (カムラッチ仕様)	アルミ	4.53	—
LIXIL デュオ PG (オペレーター仕様)	アルミ	4.45	—
三協立山 マディオ P (カムラッチ仕様)	アルミ	4.82	—
三協立山 マディオ P (オペレーター仕様)	アルミ	4.85	—
YKKAP APW330 (グレモン仕様)	樹脂	2.71	—

※住宅用の窓サッシとしては通常は用いられない商品であるが、ここでは木造以外の製品が登録されていないため、代用する。

これらの結果をまとめると以下のようなになる。商品によりばらつきがあるものの、アルミサッシと樹脂サッシでは明確に熱貫流率が異なっている。

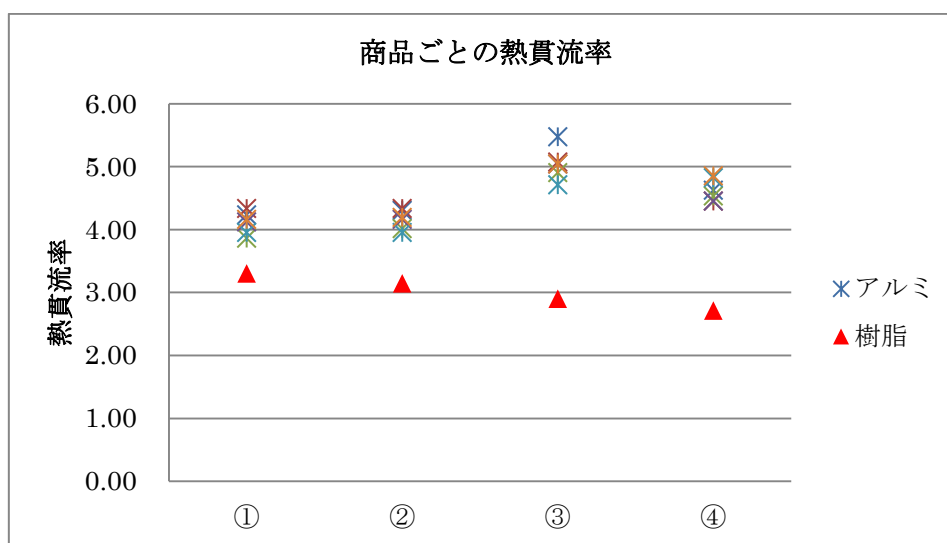


図 3-50 窓の商品ごとの熱貫流率（アルミサッシ及び樹脂サッシ）

これらのデータに基づく素材別種類別の熱貫流率の平均は次のとおり。

引き違い窓（①～③）に着目すると、アルミサッシの場合には、ガラスより断熱性が低い（熱貫流率が高い）ため窓の面積が小さいほど窓ガラスに対するサッシの面積の比率が上がり、断熱性が低く（熱貫流率が高く）なる。一方、樹脂サッシの場合にはガラスより断熱性が高い（熱貫流率が低い）ため窓の面積が小さいほど窓ガラスに対するサッシの面積の比率が上がり、断熱性が高く（熱貫流率が低く）なる。

④は片開き窓（たてすべり出し窓）で窓の形状が異なるため、①～③（引き違い窓）とは傾向が異なっている。

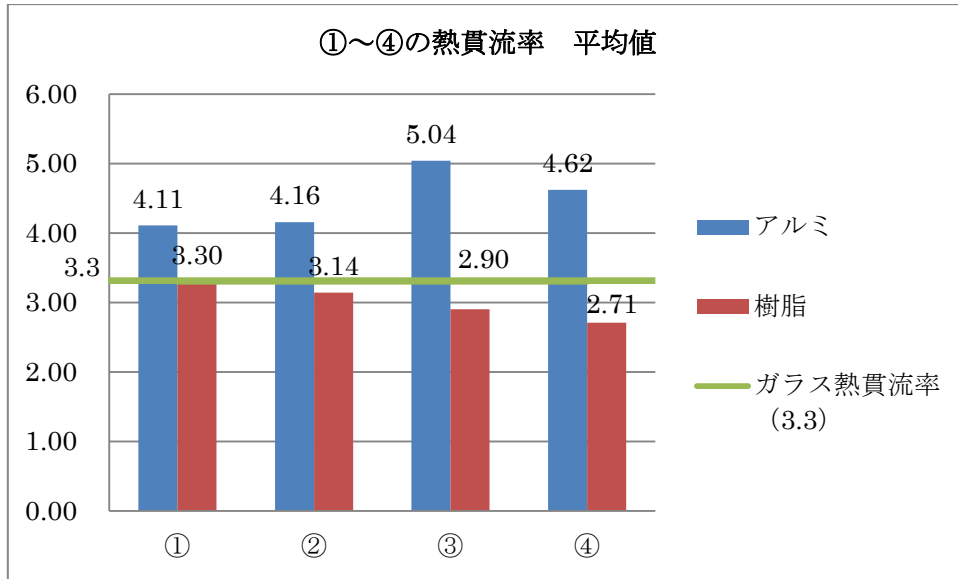


図 3-51 窓の種類ごとの平均熱貫流率（アルミサッシ及び樹脂サッシ）

### 木製サッシ

引き違い窓（①及び②）に対する試験結果は、以下のとおり。

表 3-55 引き違い窓（①及び②）に対する熱貫流率の試験結果

試験対象	熱貫流率
①W1700×H2000 引き違い窓	2.84 W/m <sup>2</sup> K
②W1700×H1200 引き違い窓	2.83 W/m <sup>2</sup> K

以上を踏まえ、木製サッシは以下のように設定することとする（③は数値がより低くなることが予想されるが保守的に②と同じとする。また、樹脂より木製サッシの方が数値が低くなることが予想されるため、④は樹脂サッシと同じとする）。

- ①：2.84 W/m<sup>2</sup>K
- ②：2.83 W/m<sup>2</sup>K
- ③：2.83 W/m<sup>2</sup>K
- ④：2.71 W/m<sup>2</sup>K

以上より、窓枠の素材ごとの熱貫流率は次のように設定する。

表 3-56 窓枠の素材ごとの熱貫流率

評価対象	熱貫流率 (W/m <sup>2</sup> K)		
	アルミサッシ	樹脂サッシ	木製サッシ
①W1700×H2000 引き違い窓	4.11	3.30	2.84
②W1700×H1200 引き違い窓	4.16	3.14	2.83
③W1700×H400 引き違い窓	5.04	2.90	2.83
④W500×H1200 たてすべり出し (開き) 窓	4.62	2.71	2.71

イ) 使用時排出量

以上で設定した素材別種類別の窓の熱貫流率に基づき、シミュレーションにより空調負荷による使用時 CO<sub>2</sub> 排出量を算出する。なお、後述するドアの素材の種類とあわせて求めた対象住宅における外皮平均熱貫流率 (UA 値) を以下に示す。

表 3-57 外皮平均熱貫流率 (UA 値)

	アルミ製サッシ	樹脂製サッシ	木製サッシ
アルミ製扉	0.75	0.65	0.62
金属製フラッシュ扉	0.73	0.63	0.60
木製扉	0.71	0.61	0.58

図 3-52 に窓サッシ素材ごとの運用時における空調負荷の CO<sub>2</sub> 排出量を示す。シミュレーションの結果、アルミサッシを使用した場合の CO<sub>2</sub> 排出量は 1986 (kg-CO<sub>2</sub> 年・戸) と最も高い値を示した。樹脂サッシを使用した場合の CO<sub>2</sub> 排出量は 1796 (kg-CO<sub>2</sub> 年・戸) であり、アルミサッシを使用した場合の CO<sub>2</sub> 排出量と比較すると 9.6%減少している。また、木製サッシを使用した場合の CO<sub>2</sub> 排出量は 1736 (kg-CO<sub>2</sub> 年・戸) であり、アルミサッシを使用した場合の CO<sub>2</sub> 排出量と比較すると 12.6%減少している。

なお、別途後述するが玄関ドアの素材によらず同じ結果となった。

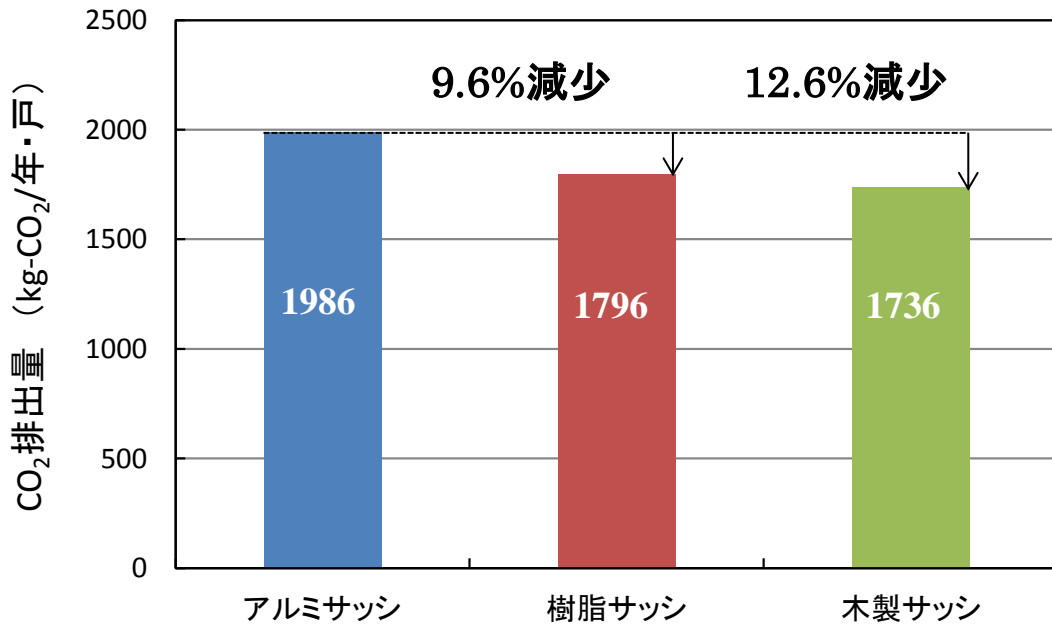


図 3-52 窓枠の素材毎の運用時における空調負荷の CO<sub>2</sub> 排出量 (kg-CO<sub>2</sub>/年・戸)

ウ) 部材調達時排出量

設定した重量及び原単位に基づき排出量を算定した。算定結果は以下のとおり。

木製サッシの方がアルミサッシより原単位が小さいものの重量が大きいため、排出量が増加する結果となった。

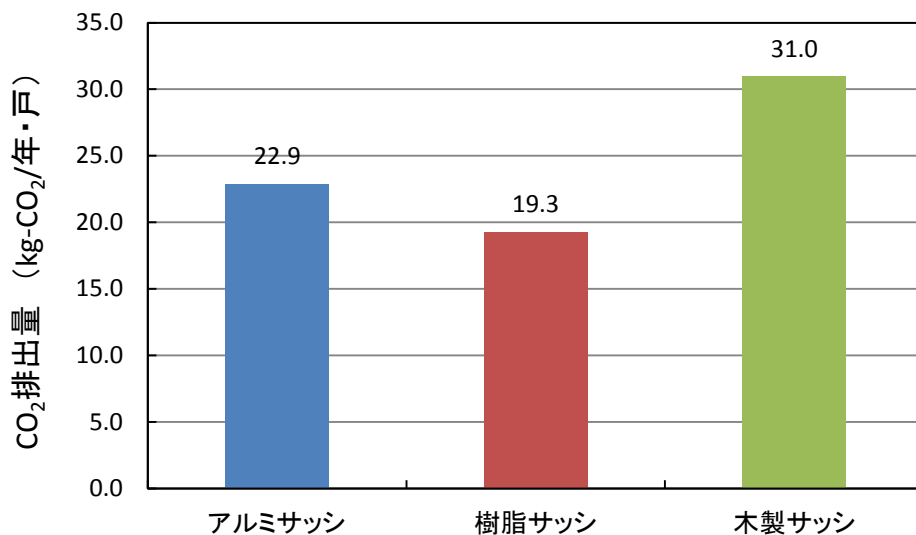


図 3-53 窓枠の素材毎の部材調達時 CO<sub>2</sub> 排出量 (kg-CO<sub>2</sub>/年・戸)

ただし、この排出量は使用時排出量の差異に比べ十分小さく、木製サッシを使用することで断熱性が高まり使用時排出量が減少する効果の方が支配的となる。



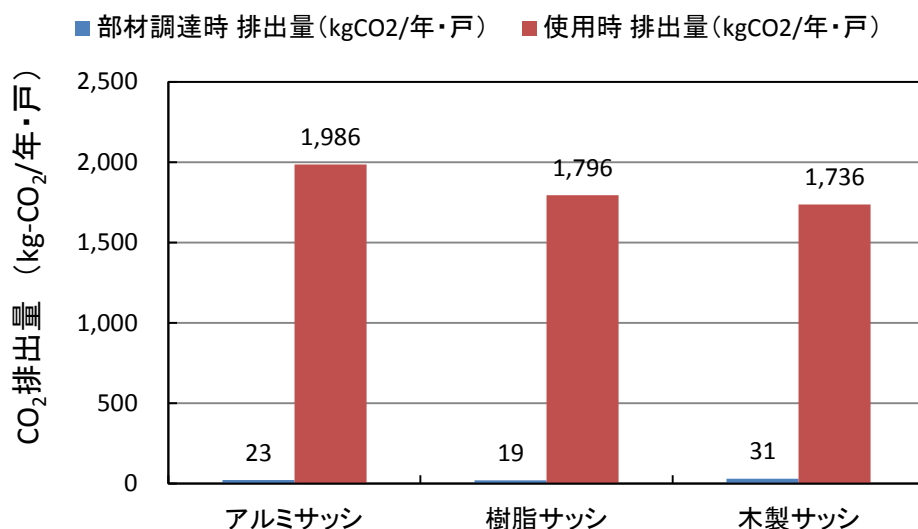


図 3-54 窓枠の素材毎の部材調達時対使用時の CO<sub>2</sub> 排出量 (kg-CO<sub>2</sub>/年・戸)

## 5) 玄関ドア

### a. 評価方法

ドアについては、サイズが規格化されてほぼ一定になっているため、具体的な製品のデータを収集し、素材別に当てはめることとした。評価に当たっては素材の違いが明確になるよう、できるだけ単一素材の製品を対象に評価することとし、排出量の違いを評価するため、使用時排出量の算定に必要な熱貫流率と部材調達時排出量の算定に必要な重量のデータを収集した。なおここでは玄関ドアを対象として評価を行う。

ドアの熱貫流率の把握方法としては窓と同様、試験による方法と計算による方法とがある。熱貫流率の計算方法は窓と同じく JIS 2102 で標準化されている。本規格による計算は試験による測定と同等程度の精度で計算が可能であることが報告されている。

ここではいずれの方法でも製品のデータとして設定されているデータを収集して設定した。なお、現在商品化され生産されているドアは断熱性を確保するため断熱材を充填してあるものが多く、素材の違いより断熱材により断熱性が決まるようになっている。ここでは素材による違いを評価したいため、できるだけ単一素材の製品を対象に評価することとした。

以上で求めた材料の種類を変更した際のそれぞれの熱貫流率に基づく建築物全体の外皮平均熱還流率 (U<sub>A</sub> 値) を求め、使用時 CO<sub>2</sub> 排出量をシミュレーションした。

また、重量に関しては、製品の重量データを収集したが、これらのデータは開示されていないことも多かったため、おおよその重量を確認して適用した。複数の製品データが得られる場合には平均値を採用した。なお、ドアについても製品によってサイズの違いがあるため、それによる影響を受けないよう、W900×H2,000 を標準としてサイズに比例して重量を補正した。

なお、部材調達時排出量を求めるのに必要な原単位については日本建築学会が作成している LCA データベース（2013 年 6 月 25 日）に示される産業連関表に基づく原単位のうち近いものを当てはめた。ただし、この原単位に基づき一部はさらに詳細化して適用した。

以上より、各素材別のドアの熱貫流率及び重量、原単位は以下のように設定した。今回採用する原単位は、使用時排出量に対する部材調達時排出量の影響度を簡易的に評価するためのものであり精度が高くない点には留意が必要である。

表 3-58 玄関ドアの評価に必要な各種設定

項目	アルミ製	金属製フラッシュ	木製
熱貫流率 (W/m <sup>2</sup> K)	6.51	4.65	2.37
重量 (kg)	27	29	57
原単位 (kgCO <sub>2</sub> /kg)	10.14 <sup>1)</sup>	7.33 <sup>2)</sup>	2.921 <sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> 日本建築学会の原単位から算出（アルミニウム製ドア）

<sup>2)</sup> 日本建築学会の原単位から算出（金属製サッシ・ドア）

<sup>3)</sup> LCA データベース（日本建築学会、2013 年 6 月 25 日）の原単位（木製建具）

## b. 評価結果

以上の方法に基づき、CO<sub>2</sub> 排出量を評価した。

使用時排出量（空調負荷による排出量）については、玄関ドアの素材による違いは見出せなかった。これは、玄関ドアは窓や壁と異なり、空調室から離れた位置に存在していることが挙げられる。そのため、外皮平均熱貫流率（表 3-57 参照）が変化しているにもかかわらず、空調負荷が変化せず、CO<sub>2</sub> 排出量にも変化が表れなかったと考えられる。

なお、参考として素材毎の部材調達時の CO<sub>2</sub> 排出量を下記に示す。木製ドアの方が重いものの原単位が小さいため排出量は小さくなる。

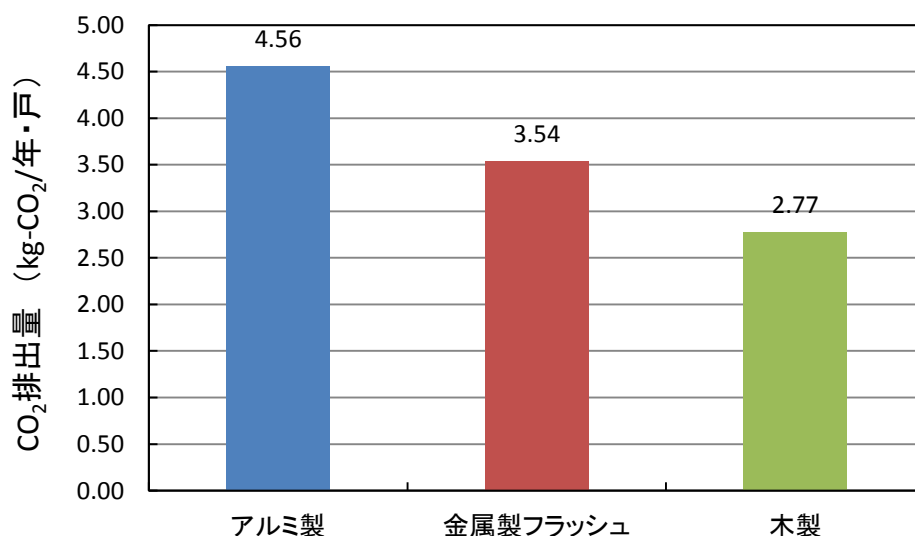


図 3-55 玄関ドアの素材毎の部材調達時 CO<sub>2</sub> 排出量 (kg-CO<sub>2</sub>/年・戸)

## 6) 内壁

### a. 評価方法

内壁としては、木造（多用）で用いている杉板貼りと木造（一般）で用いている壁紙（ビニルクロス）とを比較する。

熱貫流率、重量、原単位は以下のとおり。なお、両者とも一部外壁でも使用しており、その分の重量も含んでいる。

表 3-59 内壁の評価に必要な各種設定

項目	壁紙(ビニルクロス) (0.5mm)	杉板貼り (10mm)
熱貫流率 (W/m <sup>2</sup> K)	260	12
重量 (kg)	99.77kg	1,558kg
原単位 (kgCO <sub>2</sub> /kg)	2.304 <sup>1)</sup>	0.407 <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>LCA データベース（日本建築学会、2013年6月25日）の原単位（プラスチックフィルム・シート）

<sup>2)</sup>LCA データベース（日本建築学会、2013年6月25日）の原単位（製材）

使用時排出量（空調負荷による排出量）の算定にあたってのシミュレーションの条件は表 3-48 と同じであるが、窓サッシは樹脂サッシとした。

### b. 評価結果

上記の設定での外皮平均熱貫流率は以下の通りとなる。いずれの素材も断熱性向上を目的として導入されているものではないため、熱貫流率に与える影響は小さいものの差異が発生している。

表 3-60 内壁の素材の違いによる外皮平均熱貫流率 (UA 値)

項目	ビニルクロス	杉板
外皮平均熱貫流率 (U <sub>A</sub> 値)	0.630	0.625

注) 一部外壁でも使用しており、その分も含む。

これをもとにシミュレーションで使用時排出量（空調負荷による排出量）を求めたものを次に示す。0.5%ではあるものの断熱性が高い杉板の方が排出量が小さい結果となった。

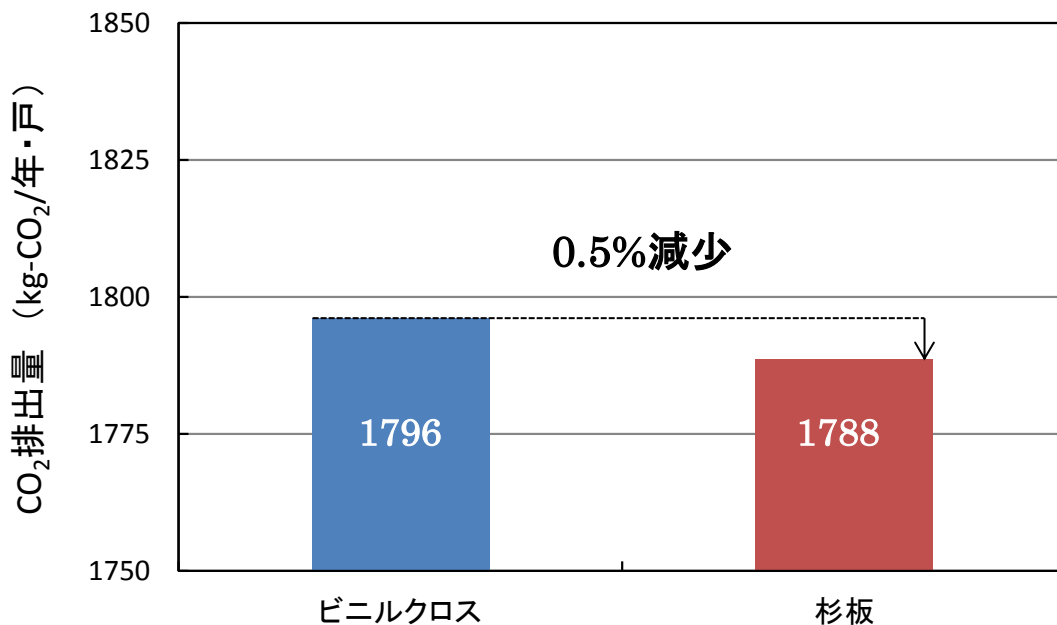


図 3-56 内装材変更時における空調負荷の CO<sub>2</sub> 排出量 (kg-CO<sub>2</sub>/年・戸)

これに対し、部材の調達時の排出量は、原単位は小さいものの杉板の方が重いことから杉板の方が大きくなる。

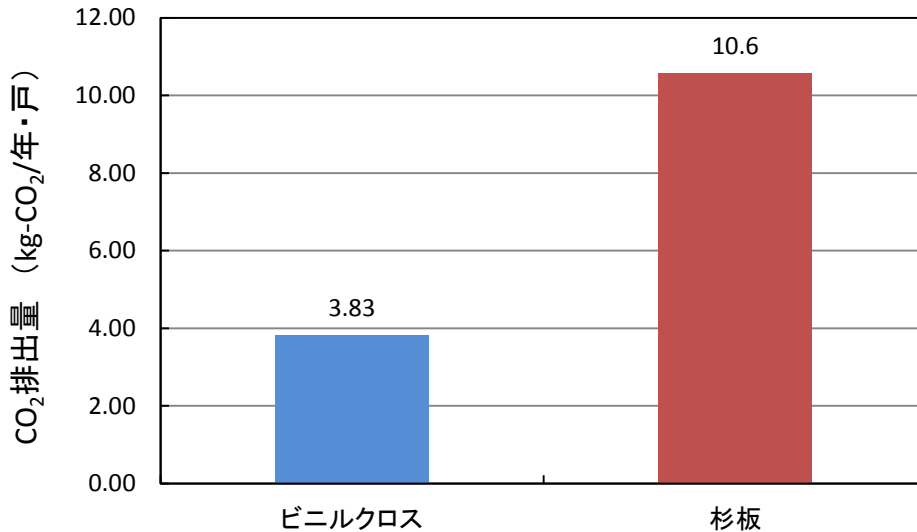


図 3-57 内壁の素材毎の部材調達時 CO<sub>2</sub> 排出量 (kg-CO<sub>2</sub>/年・戸)

使用時の排出量（空調負荷）と部材の調達時の排出量では絶対値が大きく異なるものの、大小関係が逆になり、合算するとほぼ同等となった（図 3-58）。このため、内壁の素材をビニルクロスから杉板に変えたとしても排出量に変化はない。

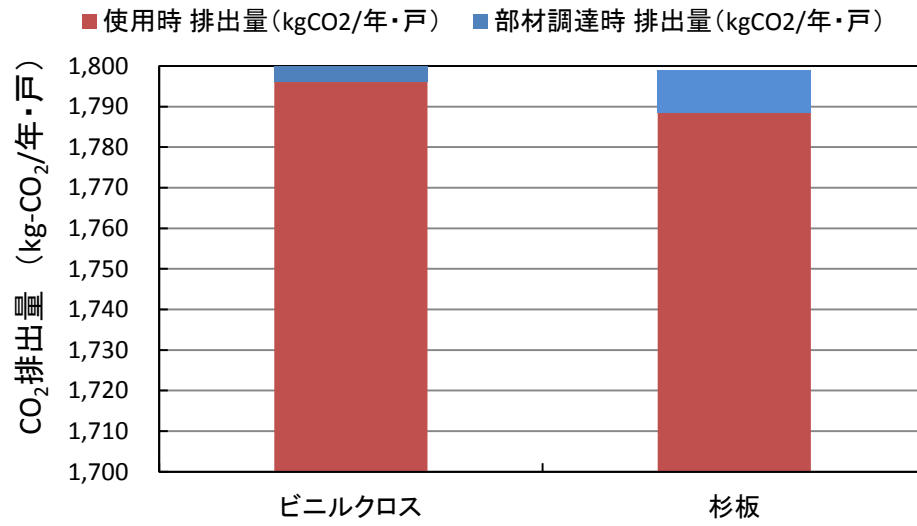


図 3-58 内壁の素材毎の部材調達時対使用時の CO<sub>2</sub> 排出量 (kg-CO<sub>2</sub>/年・戸)

### (3) 家具等

#### 1) 学校用机・イス

##### a. 評価対象

評価対象とする家具については、下記の観点から選定を行った。

- ✓ 生産量（出荷量・販売量）・生産額（出荷額・販売額）が大きい
  - 省エネ省 GHG 効果が大きい
- ✓ 木製製品による代替可能性が大きい
  - そもそも非木製製品を木製製品で代替でき、現状木製製品の方が劣勢
- ✓ 標準仕様が存在
  - 寸法等の標準仕様がある家具を対象とする方が算定結果の意義が大きい
- ✓ 家庭用・オフィス用から1製品ずつを対象
  - 建築物同様、家庭用家具とオフィス用家具のそれぞれから1製品選定
- ✓ 製造工程等における GHG 関連データが入手可能
  - 既存データベース等のみでは GHG 関連データの入手に限度があるため、データ提供に協力してくれる家具メーカーがいる等、データを入手できるものを選定

上記を踏まえ、評価対象とする家具は下記とした。

なお、非木製・木製で耐久性や強度等は異なるが、本評価においてはそれらの違いの補正等を行っていないため、性能が完全に同一ではないことに留意されたい。

表 3-61 評価対象（学校用机・イス）

対象	非木製製品 (比較対象)	木製製品 (部分的に木製)	木製製品 (全て木製)
学校用 机	<b>オプション①</b> ● 天板：スチール ● 脚：スチール	<b>オプション②</b> ● 天板：MDF ● 脚：スチール	<b>オプション④</b> ● 天板：集成材 ● 脚：集成材
		<b>オプション③</b> ● 天板：集成材 ● 脚：スチール	
学校用 イス	<b>オプション①</b> ● 座・背：ポリプロピ レン ● 脚・枠組み：スチー ル	<b>オプション②</b> ● 座・背：合板 ● 脚・枠組み：スチー ル	<b>オプション③</b> ● 座・背：集成材 ● 脚・枠組み：集成材

##### b. 評価方法

家具原料の調達から生産、流通、廃棄に至るまでの GHG 排出量を評価の範囲とする。なお、使用時のエネルギー消費量（CO2 排出量）はゼロであるため、使用時は評価対象外とする。

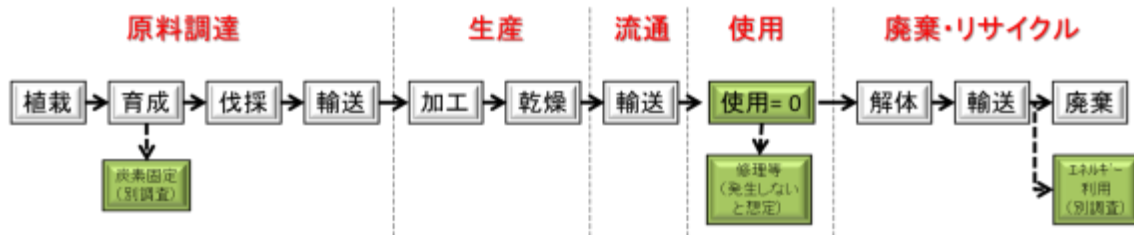


図 3-59 評価方法（学校用机・イス）

#### ア) 学校用机

木製と非木製で比較可能であり、かつ学校用机として一般的な仕様となるよう設定する。具体的には以下のようにしたい。

##### <評価対象>

- ✓ サイズ：W650×D450×H700（標準身長：165cm）
- ✓ 天板：①スチール、②木製（MDF）、③④木製（集成材）
- ✓ 脚部：①②③非木製（スチール）、④木製（集成材）
- ✓ 付属品：アジャスター付き（木製・非木製とで共通）

家具メーカーA社の学校用机は既にCFPを取得しており、GHG関連データが入手可能であり、家具メーカーA社より関連データ提供を頂いた。これは天板がMDF製・脚がスチール製であり、部分的に木製のデスク（オプション② 天板：MDF、脚：スチール）のモデルとしてこれを設定する。

オプション①（天板：スチール、脚：スチール）については、脚は上記オプション②と同一と想定し、天板のみスチールに替えた場合と設定する。スチール天板の学校机はモデルとなり得る実製品のデータが得られなかったことから、後段で評価対象とするオフィスデスクのスチール天板のデータを引用することとする。

また、オプション③（天板：集成材、脚：スチール）については、脚は上記オプション②と同一と想定し、天板のみ集成材に替えた場合をモデルとして設定する。さらに、全て木製（集成材）のオプション④については、サイズのみオプション②と同じと仮定して評価を行う。

- ✓ ①非木製（天板：スチール、脚：スチール）：天板は②と同一サイズのスチール、脚は②と同一と仮定。
- ✓ ②部分的に木製（天板：MDF、脚：スチール）：家具メーカーA社の製品をモデルとする（次図）
- ✓ ③部分的に木製（天板：集成材、脚：スチール）：天板は②と同一サイズの集成材、脚は②と同一と仮定。
- ✓ ④木製（天板・脚：集成材）：天板及び脚の全てを木製（集成材）と仮定。



図 3-60 部分的に木製学校用机（オプション②）のモデル  
 （出典：家具メーカーA社カタログ）

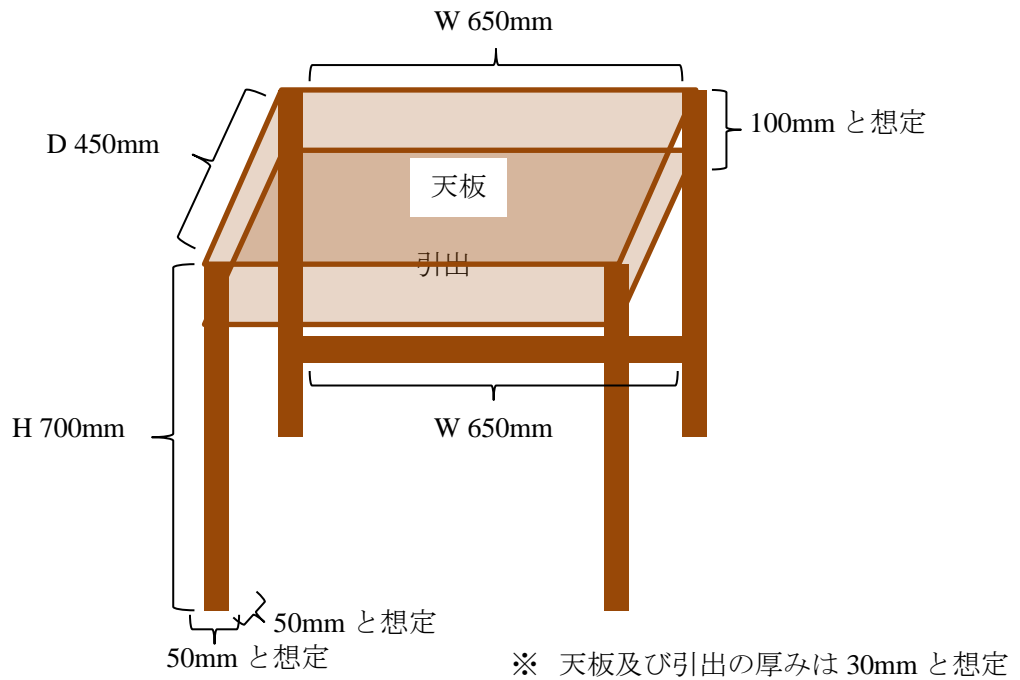


図 3-61 木製学校用机（オプション④）のモデル



## イ) 学校用イス

木製と非木製で比較可能であり、かつ学校用イスとして一般的な仕様となるよう設定する。具体的には以下のようにしたい。

### <評価対象>

- ✓ サイズ：SW400×SD380×SH420（標準身長：165cm）
- ✓ 背・座：①非木製（ポリプロピレン）、②木製（合板）、③木製（集成材）
- ✓ 脚・枠組み：①②非木製（スチール）、③木製（集成材）
- ✓ 脚端：ポリプロピレン製（木製・非木製とで共通）

上記比較を行うに当たっては、類似した製品のデータを把握し、それを補正することにより評価を行う。家具メーカーA社の学校用イスは既にCFPを取得しており、GHG関連データが入手可能であり、家具メーカーA社より関連データ提供を頂いた。これはポリプロピレン製であり、非木製イス（オプション①）のモデルとして設定する。ただし、本モデルは従来製品よりも20%程度軽量化した環境配慮製品であるため、重量を通常程度と想定して補正計算を行う。

また、部分的に木製イス（オプション②、座・背：合板、脚・枠組み：スチール）については、脚・枠組みは上記非木製イスと同一と想定し、背・座のみ木製（合板）に替えた場合をモデルとして設定する。さらに、木製イス（オプション③、全て集成材）については、サイズのみオプション①と同じと仮定して評価を行う。

- ✓ ①非木製（ポリプロピレン製）：家具メーカーA社の製品をモデルとする（次図）
- ✓ ②部分的に木製：背・座は非木製と同一サイズの木製（合板）、脚・枠組みは非木製と同一と仮定。
- ✓ ③木製：座・背及び脚・枠組みの全てを木製（集成材）と仮定。



図 3-62 非木製学校用イス（オプション①）のモデル

（出典：家具メーカーA社カタログ）

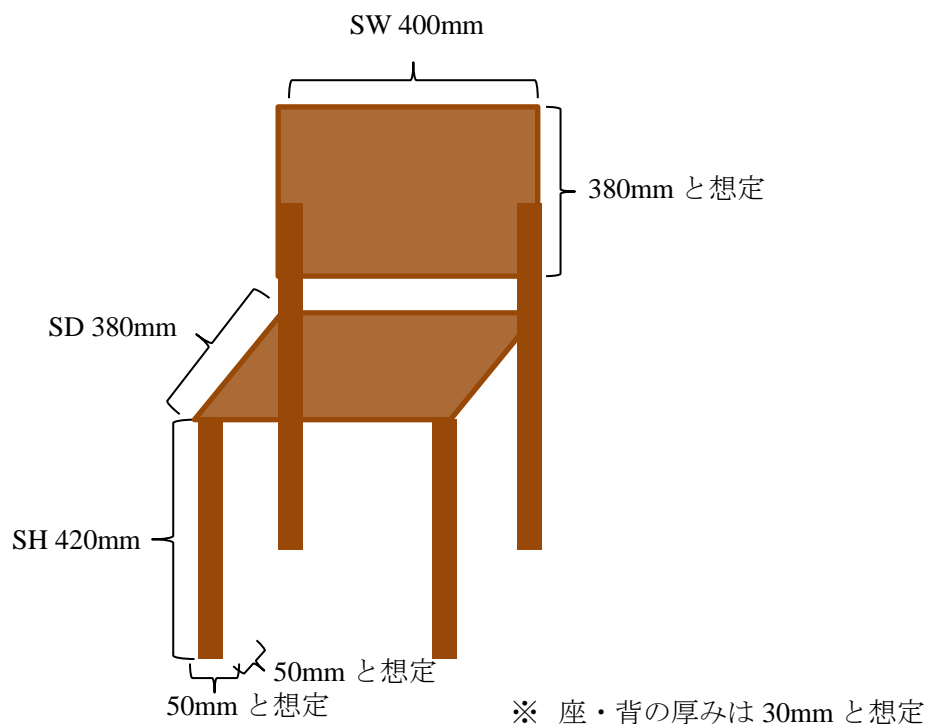


図 3-63 木製学校用イス（オプション③）のモデル

### c. データの収集

上記評価範囲における GHG 排出量データを収集する。データ収集方法としては、下記 2 通りを想定するが、特に製造工程については、既存データベースではカバーされておらず、家具メーカーの協力が不可欠である。

- ✓ カーボンフットプリントコミュニケーションプログラム 基本データベース ver. 1.01 (国内データ)
- ✓ 家具メーカーからのデータ提供

#### ア) 学校用机

CFP 登録データをベースとし、按分が必要な箇所の特定制や不足データ等は、家具メーカー A 社の協力を得て実施する。

なお、家具メーカー A 社による CFP 登録情報は、非常に緻密なデータの積算となっており、標準的なイスを想定し、かつ、木製と非木製との比較が重要である本調査においては、必ずしも全てのデータが必要ではない。このことから、当該デスクの CFP 値（GHG 総排出量）に占める割合が、95%以上を網羅できるよう割合が大きい項目から順に抽出して精査することとする。この観点で抽出した 27 項目で CFP 値の 95.00%を占めており、主要な排出（主要原料の調達・製造等に係る排出）は含まれている。

#### オプション①：非木製（天板：スチール、脚：スチール）

オプション②の天板をスチールに転換した机であり、基本的には家具メーカーA社より提供頂いたデータをベースとするが、スチール天板に関してはモデルとなり得る実製品のデータが得られなかったことから、後段で評価対象とするオフィスデスクのスチール天板のデータを以下の通り活用する。

- ✓ 家具メーカーB社のスチール天板に係るデータを抽出
- ✓ 上記を天板サイズで按分

#### オプション②：部分的に木製（天板：MDF、脚：スチール）

基本的には家具メーカーA社より提供頂いたデータをもとに、以下の通りGHGデータを収集・設定する。

- ✓ カバー率95%以上となるようCFP登録データから排出量の大きい項目を抽出
- ✓ 各項目の原単位を精査（必要に応じて最新データや適切なデータに修正）
- ✓ A社製品は一般的な製品より軽量化されているため、一般的な重量に補正。

#### オプション③：部分的に木製（天板：集成材、脚：スチール）

オプション②の天板のみ集成材に転換した机であるため、こちらも基本的には家具メーカーA社より提供頂いたデータをベースとするが、集成材への転換に際して精査や追加のデータ収集を以下の通り実施する。

- ✓ オプション②のデータのうち天板に係る項目について、a) MDF天板と集成材天板とで値を変えるべき項目、b) 天板重量に応じて値を変えるべき項目、の分類を行う。
- ✓ 上記a)の各項目について集成材のデータに置き換える。このとき、集成材の密度・歩留り・加工時電力消費量については、後段の家具メーカーB社から提供頂いたパーティクルボードと同じと想定した。
  - 集成材製造まで：「カーボンフットプリントコミュニケーションプログラム基本データベース ver. 1.01 (国内データ)」の集成材のデータ
  - 集成材加工～製品完成まで：上記オフィス用デスクの原単位 [kWh/m<sup>3</sup>] で代用
- ✓ 上記b)の各項目を集成材の重量に応じて按分するため、集成材及びMDFに関して重量データ収集・置換。

#### オプション④：木製（天板：集成材、脚：集成材）

天板のみならず脚も集成材とした机であり、天板はオプション③と同様にしてデータ収集する。脚についても、天板と同様の原単位等を用いる。

#### イ) 学校用イス

CFP登録データをベースとし、按分が必要な箇所の特定や不足データ等は、家具メーカ

一B社の協力を得て実施する。

なお、家具メーカーA社によるCFP登録情報は、非常に緻密なデータの積算となっており、標準的なイスを想定し、かつ、木製と非木製との比較が重要である本調査においては、必ずしも全てのデータが必要ではない。このことから、当該デスクのCFP値（GHG総排出量）に占める割合が、95%以上を網羅できるよう割合が大きい項目から順に抽出して精査することとする。この観点で抽出した27項目でCFP値の95.19%を占めており、主要な排出（主要原料の調達・製造等に係る排出）は含まれている。

#### オプション①：非木製（座・背：PP、脚・枠組み：スチール）

基本的には家具メーカーA社より提供頂いたデータをもとに、以下の通りGHGデータを収集・設定する。

- ✓ カバー率95%以上となるようCFP登録データから排出量の大きい項目を抽出
- ✓ 各項目の原単位を精査（必要に応じて最新データや適切なデータに修正）
- ✓ A社製品は一般的な製品より軽量化されているため、一般的な重量に補正。

#### オプション②：部分的に木製（座・背：合板、脚・枠組み：スチール）

オプション①の座・背のみ合板に転換したイスであるため、こちらも基本的には家具メーカーB社より提供頂いたデータをベースとするが、合板への転換に際して精査や追加のデータ収集を以下の通り実施する。

- ✓ カバー率95%以上となるようCFP登録データから排出量の大きい項目を抽出
- ✓ 座・背に関係する項目について、a) PPと合板とで値を変えるべき項目、b)重量に応じて値を変えるべき項目、の分類を行う。
- ✓ 上記a)の各項目について合板のデータに置き換える。このとき、合板の密度・歩留り・加工時電力消費量については、後段の家具メーカーB社から提供頂いたパーティクルボードと同じと想定した。
  - 合板製造まで：「カーボンフットプリントコミュニケーションプログラム 基本データベース ver. 1.01 (国内データ)」の普通合板のデータ
  - 合板加工～製品完成まで：上記オフィス用デスクの原単位 [kWh/m<sup>3</sup>] で代用
- ✓ 上記b)の各項目について按分するための重量データ収集・置換。

#### オプション③：木製（座・背：集成材、脚・枠組み：集成材）

座・背のみならず脚・枠組みも集成材としたイスであり、下記のデータより推計する。

- ✓ 集成材製造まで：「カーボンフットプリントコミュニケーションプログラム 基本データベース ver. 1.01 (国内データ)」の集成材のデータ
- ✓ 集成材加工～製品完成まで：上記オフィス用デスクの原単位 [kWh/m<sup>3</sup>] で代用
- ✓ 輸送：オプション①と同じ（重量は異なる）

#### d. LC-GHG 評価結果

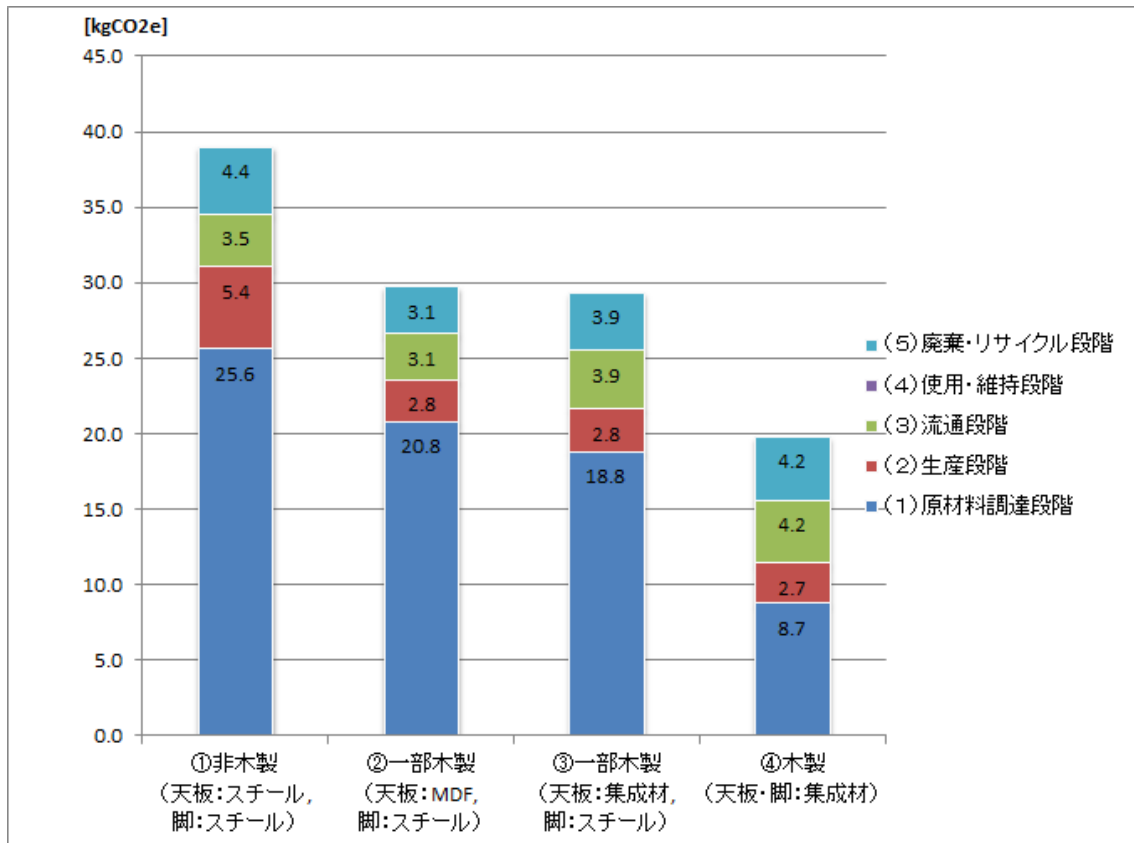
上記 b. で決定した仕様に基づき、上記で収集したデータを合計することにより、対象家具の原料調達・生産～廃棄までの GHG 排出量 (=LC-GHG 排出量) を算定した。算定結果の概要は、次表の通り。

学校用机については、スチール製の場合、原料となる冷延鋼板の製造に多大なエネルギーが使用されており、天板のみを木製に転換した場合でも、10 kgCO<sub>2</sub>e 程度以上の削減が得られる。ただし、集成材製は重量が重いため、流通や廃棄段階の輸送に係る排出量が大きくなる。また、同じ木製同士であっても MDF と集成材とでは、集成材の方が原料製造にかかる原単位が小さいため、より排出量が小さい。

学校用イスについては、非木製の場合、背・座が PP (ポリプロピレン) 製であり、スチールほど製造工程でエネルギーを消費しないことから、背・座のみを木製に転換しても、大きな削減効果は得られなかった。一方で、脚・枠組みをスチール製から木製に転換した場合には、削減効果が顕著に現れる。

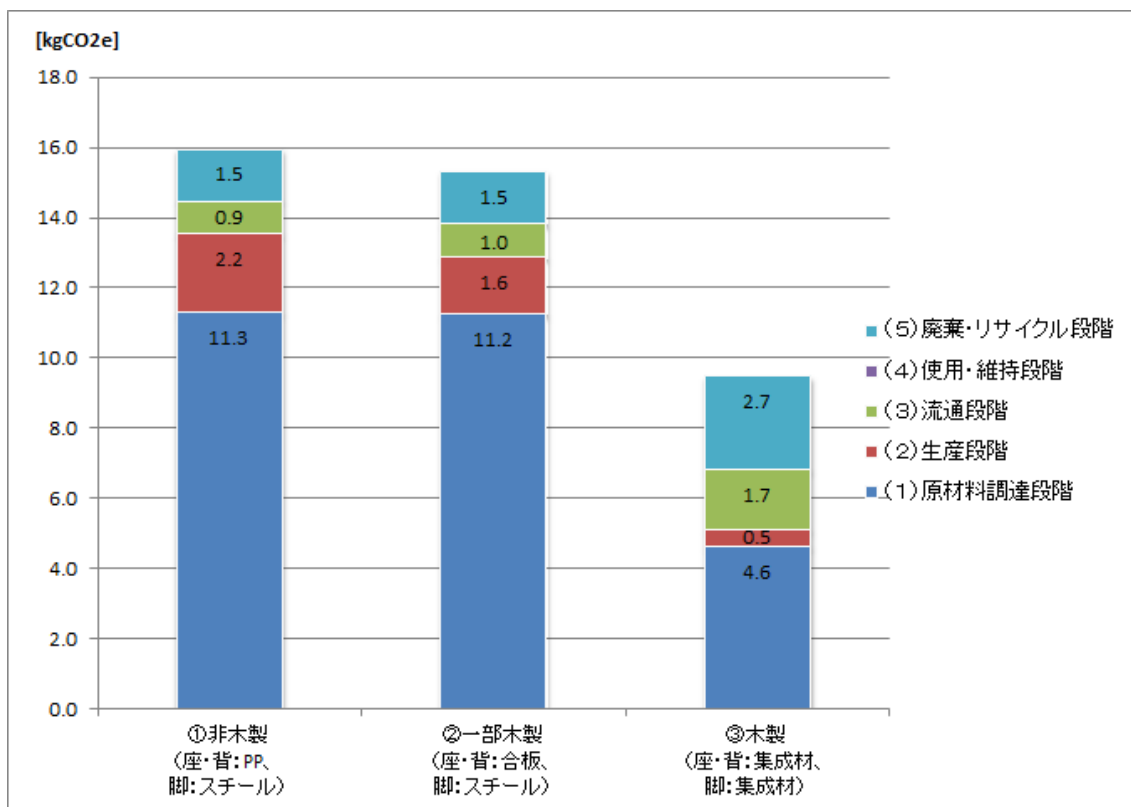
表 3-62 LC-GHG 評価結果 (学校用机・イス)

対象	非木製製品 (比較対象)	木製製品 (部分的に木製)	木製製品 (全て木製)	
学校用机	<b>オプション①</b> ● 天板：スチール ● 脚：スチール (製品重量：約 12.4 kg)	<b>オプション②</b> ● 天板：MDF ● 脚：スチール (製品重量：約 11.0 kg)	<b>オプション④</b> ● 天板：集成材 ● 脚：集成材 (製品重量：約 15.0 kg)	
		29.72 kgCO <sub>2</sub> e		
		<b>オプション③</b> ● 天板：集成材 ● 脚：スチール (製品重量：約 13.8 kg)		29.35 kgCO <sub>2</sub> e
	39.01 kgCO <sub>2</sub> e	29.35 kgCO <sub>2</sub> e	19.78 kgCO <sub>2</sub> e	
学校用イス	<b>オプション①</b> ● 座・背：ポリプロピレン ● 脚・枠組み：スチール (製品重量：約 4.1 kg)	<b>オプション②</b> ● 座・背：合板 ● 脚・枠組み：スチール (製品重量：約 5.4 kg)	<b>オプション③</b> ● 座・背：集成材 ● 脚・枠組み：集成材 (製品重量：約 9.5 kg)	
		15.31 kgCO <sub>2</sub> e		
		15.94 kgCO <sub>2</sub> e		9.47 kgCO <sub>2</sub> e



	[kgCO2e]			
	①非木製 (天板:スチール, 脚:スチール)	②一部木製 (天板:MDF, 脚:スチール)	③一部木製 (天板:集成材, 脚:スチール)	④木製 (天板・脚:集成材)
(1) 原材料調達段階	25.6	20.8	18.8	8.7
(2) 生産段階	5.4	2.8	2.8	2.7
(3) 流通段階	3.5	3.1	3.9	4.2
(4) 使用・維持段階	0.0	0.0	0.0	0.0
(5) 廃棄・リサイクル段階	4.4	3.1	3.9	4.2
合計	39.01	29.72	29.35	19.78

図 3-64 学校用机 LC-GHG 排出量



	[kgCO2e]		
	①非木製 (座・背:PP、 脚:スチール)	②一部木製 (座・背:合板、 脚:スチール)	③木製 (座・背:集成材、 脚:集成材)
(1) 原材料調達段階	11.3	11.2	4.6
(2) 生産段階	2.2	1.6	0.5
(3) 流通段階	0.9	1.0	1.7
(4) 使用・維持段階	0.0	0.0	0.0
(5) 廃棄・リサイクル段階	1.5	1.5	2.7
<b>合計</b>	<b>15.94</b>	<b>15.31</b>	<b>9.47</b>

図 3-65 学校用イス LC-GHG 排出量

#### e. 削減ポテンシャル推計

学校用机及びイスそのものの統計データが存在しないことから、日本における小学校・中学校・高等学校の在学者数（平成 25 年：13,532,742 人）を、学校用机及びイスの数と想定して、推計を行う。

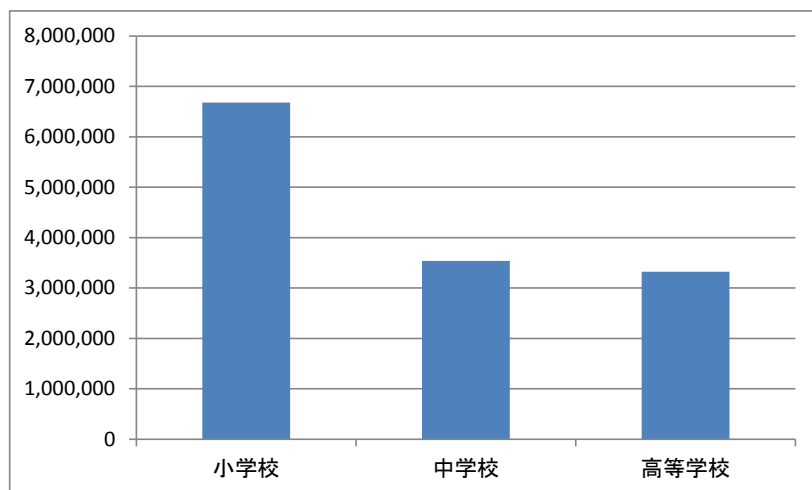


図 3-66 在学者数 (「学校基本調査」文部科学省より MRI 作成 (H25 年次データ))

全ての学校用机又はイスが次表の「現状ケース」から「木製利用ケース」に転換した場合の、GHG 削減量を推計する。

表 3-63 削減ポテンシャル推計ケース設定 (学校用机・イス)

評価対象	現状ケース	木製利用ケース
学校用机	天板：MDF、脚：スチール (オプション②)	天板：集成材、脚：集成材 (オプション④)
学校用イス	座・背：合板、脚・枠組み： スチール (オプション②)	座・背：集成材、脚・枠組み： 集成材 (オプション③)

上記の設定のもと、部分的に木製の学校用机・イスを、全て木製のものに転換した場合の削減ポテンシャルは、学校用机で約 13 万 tCO<sub>2</sub>e、学校用イスでは約 7.9 万 tCO<sub>2</sub>e である。

なお、学校単位で転換した場合の削減量も、参考として試算した。1 校当たりの在学者数が多い高等学校では、机の場合で 6.6 tCO<sub>2</sub>e、イスの場合で 3.9 tCO<sub>2</sub>e となった。

表 3-64 削減ポテンシャル (学校用机)

	在学者数 [人]	学校数 [-]	1校当たり 在学者数 [人/校]	削減 ポテンシャル [tCO <sub>2</sub> e]
全国計	13,532,742	36,740	368	<b>134,546.9</b>
小学校	6,676,920	21,131	316	<b>3.1</b>
中学校	3,536,182	10,628	333	<b>3.3</b>
高等学校	3,319,640	4,981	666	<b>6.6</b>

表 3-65 削減ポテンシャル (学校用イス)

	在学者数 [人]	学校数 [-]	1校当たり 在学者数 [人/校]	削減 ポテンシャル [tCO <sub>2</sub> e]
全国計	13,532,742	36,740	368	<b>79,031.4</b>
小学校	6,676,920	21,131	316	<b>1.8</b>
中学校	3,536,182	10,628	333	<b>1.9</b>
高等学校	3,319,640	4,981	666	<b>3.9</b>



## 2) オフィスデスク

### a. 評価対象

評価対象とする家具については、下記の観点から2製品程度を選定する。

- ✓ 生産量（出荷量・販売量）・生産額（出荷額・販売額）が大きい
  - 省エネ省 GHG 効果大きい
- ✓ 木製製品による代替可能性が高い
  - そもそも非木製製品を木製製品で代替でき、現状木製製品の方が劣勢
- ✓ 標準仕様が存在
  - 寸法等の標準仕様がある家具を対象とする方が算定結果の意義大きい
- ✓ 家庭用・オフィス用から1製品ずつを対象
  - 建築物同様、家庭用家具とオフィス用家具のそれぞれから1製品選定
- ✓ 製造工程等における GHG 関連データが入手可能
  - 既存データベース等のみでは GHG 関連データの入手に限度があるため、データ提供に協力してくれる家具メーカーがいる等、データを入手できるものを選定

上記を踏まえ、評価対象とする家具は下記とする。

なお、非木製・木製で耐久性や強度等は異なるが、本評価においてはそれらの違いの補正等は行っていないため、性能が完全に同一ではないことに留意されたい。

表 3-66 評価対象（オフィスデスク）

対象	非木製製品 (比較対象)	木製製品 (部分的に木製)	木製製品 (全て木製)
オフィス デスク	<b>オプション①</b> ● 天板：スチール ● 脚：スチール	<b>オプション②</b> ● 天板：パーティクル ボード ● 脚：スチール	<b>オプション④</b> ● 天板：集成材 ● 脚：集成材
		<b>オプション③</b> ● 天板：集成材 ● 脚：スチール	

### b. 評価方法

家具原料の調達から生産、流通、廃棄に至るまでの GHG 排出量を評価の範囲とする。なお、使用時のエネルギー消費量（CO2 排出量）はゼロであるため、使用時は評価対象外とする。

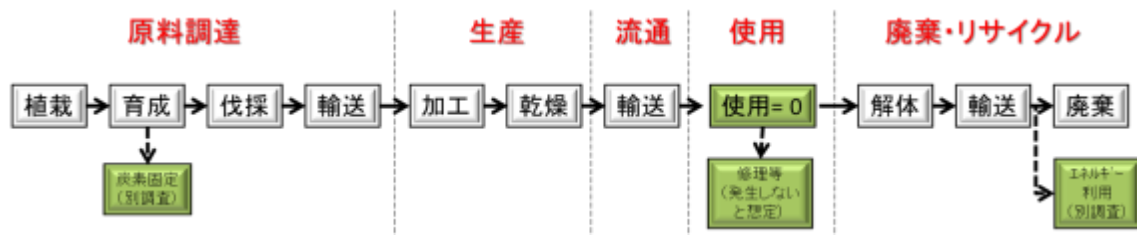


図 3-67 評価方法（オフィスデスク）

木製と非木製で比較可能であり、かつオフィスデスクとして一般的な仕様となるよう設定する。具体的には以下のようにしたい。

<評価対象>

- ✓ サイズ：D700×H700×W1200
- ✓ 天板：①非木製（スチール）、②木製（パーティクルボード）、③木製（集成材）、④木製（集成材）
- ✓ 脚部：①②③非木製（スチール）、④木製（集成材）
- ✓ 付属品：アジャスター付き（木製・非木製とで共通）

家具メーカーB社のオフィスデスクは既にCFPを取得しており、GHG関連データが入手可能であり、家具メーカーB社より関連データ提供を頂いた。これはスチール製であり、非木製デスク（オプション①）のモデルとしてこれを設定する。

また、木製デスク（オプション②、③）については、脚は上記非木製デスク（オプション①）と同一と想定し、天板のみ木製に替えた場合をモデルとして設定する。さらに、全て木製（オプション④）については、サイズのみ非木製デスク（オプション①）と同じと仮定して評価を行う。

- ✓ ①非木製（スチール）：家具メーカーB社の製品をモデルとする（次図）
- ✓ ②③木製（パーティクルボード、集成材）：天板は非木製と同一サイズの木製（②パーティクルボード、③集成材）、脚は非木製と同一と仮定。
- ✓ ④木製（集成材）：天板及び脚の全てを木製（集成材）と仮定。

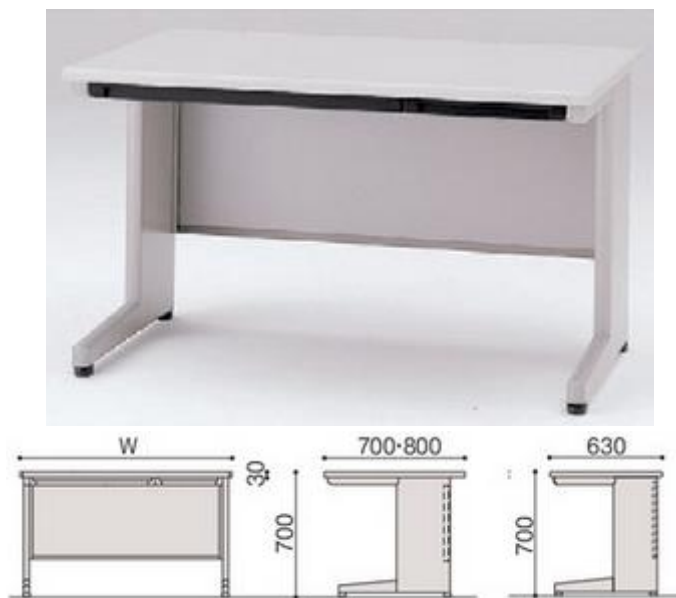
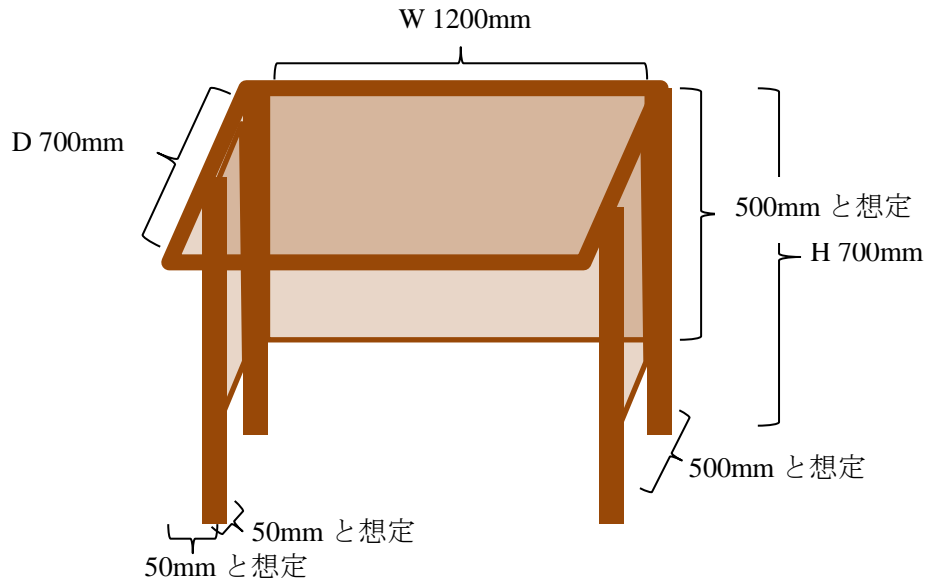


図 3-68 非木製デスク（オプション①）のモデル

（出典：家具メーカーB社カタログ）



※ 天板及び側面の厚みは 30mm と想定

図 3-69 木製デスク（オプション④）のモデル

### c. データの収集

上記評価範囲における GHG 排出量データを収集する。データ収集方法としては、下記 2 通りを想定するが、特に製造工程については、既存データベースではカバーされておらず、家具メーカーの協力が不可欠である。

- ✓ カーボンフットプリントコミュニケーションプログラム 基本データベース ver. 1.01 (国内データ)
- ✓ 家具メーカーからのデータ提供

モデルとして選定する家具メーカーB社のスチールデスクの CFP 登録データをベースとし、按分が必要な箇所の特定や不足データ等は、家具メーカーB社の協力を得て実施する。

なお、家具メーカーB社による CFP 登録情報は、非常に緻密なデータの積算となっており、標準的なデスクを想定し、かつ、木製と非木製との比較が重要である本調査においては、必ずしも全てのデータが必要ではない。このことから、当該デスクの CFP 値（GHG 総排出量）に占める割合が、95%以上を網羅できるような割合が大きい項目から順に抽出して精査することとする。この観点で抽出した 27 項目で CFP 値の 95.12%を占めており、主要な排出（主要原料の調達・製造等に係る排出）は含まれている。

#### オプション①：非木製（スチール）

基本的には家具メーカーB社より提供頂いたデータをもとに、以下の通り GHG データを収集・設定する。

- ✓ カバー率 95%以上となるよう CFP 登録データから排出量の大きい項目を抽出
- ✓ 各項目の原単位を精査（必要に応じて最新データや適切なデータに修正）

#### オプション②：木製（天板：パーティクルボード）

非木製デスクの天板のみ木製（パーティクルボード製）に転換したデスクであるため、こちらも基本的には家具メーカーB社より提供頂いたデータをベースとするが、木製への転換に際して精査や追加のデータ収集を以下の通り実施する。

- ✓ カバー率 95%以上となるよう CFP 登録データから排出量の大きい項目を抽出
- ✓ 非木製デスクと木製デスクとで a)同一の値を適用できる項目、b)按分した値を適用する項目、c)木製デスクでは不要な項目、の分類を行う。
- ✓ 上記 a)b)の各項目の原単位を精査（必要に応じて最新データや適切なデータに修正）
- ✓ 上記 b)の各項目を木製分について按分するためのデータ収集及び仮定の設定（例：重量比で按分）を行い、木製の場合の GHG 排出量を算定
- ✓ 非木製デスクでは不要だが木製デスクでは必要な項目について、項目の洗い出しと GHG 関連データを収集（パーティクルボード自体の製造までは、「カーボンフットプリントコミュニケーションプログラム 基本データベース ver. 1.01（国内データ）」のデータを活用する。）

#### オプション③：木製（天板：集成材）

オプション②の天板をパーティクルボードから集成材に変更したデスクであるため、基本的にはオプション②と同じ。

ただし、パーティクルボードと集成材とでは加工に要するエネルギー量が異なると考えられるが、データ制約の関係上、パーティクルボードの加工時のエネルギー消費量から処理体積当たりの原単位[kWh/m<sup>3</sup>]を作成し、これを集成材にも適用することとした。また、密度及び歩留りにについてもパーティクルボードと同じと想定した。

#### オプション④：木製（全て集成材）

天板のみならず脚も集成材としたデスクであり、下記のデータより推計する。

- ✓ 集成材製造まで：「カーボンフットプリントコミュニケーションプログラム 基本データベース ver. 1.01（国内データ）」の集成材のデータ
- ✓ 集成材加工～製品完成まで：上記オプション③の原単位 [kWh/m<sup>3</sup>]
- ✓ 輸送：オプション①と同じ

#### d. LC-GHG 評価結果

上記 b. で決定した仕様に基づき、上記で収集したデータを合計することにより、対象家具の原料調達・生産～廃棄までの GHG 排出量（=LC-GHG 排出量）を算定した。算定結果の概要は、次表の通り。

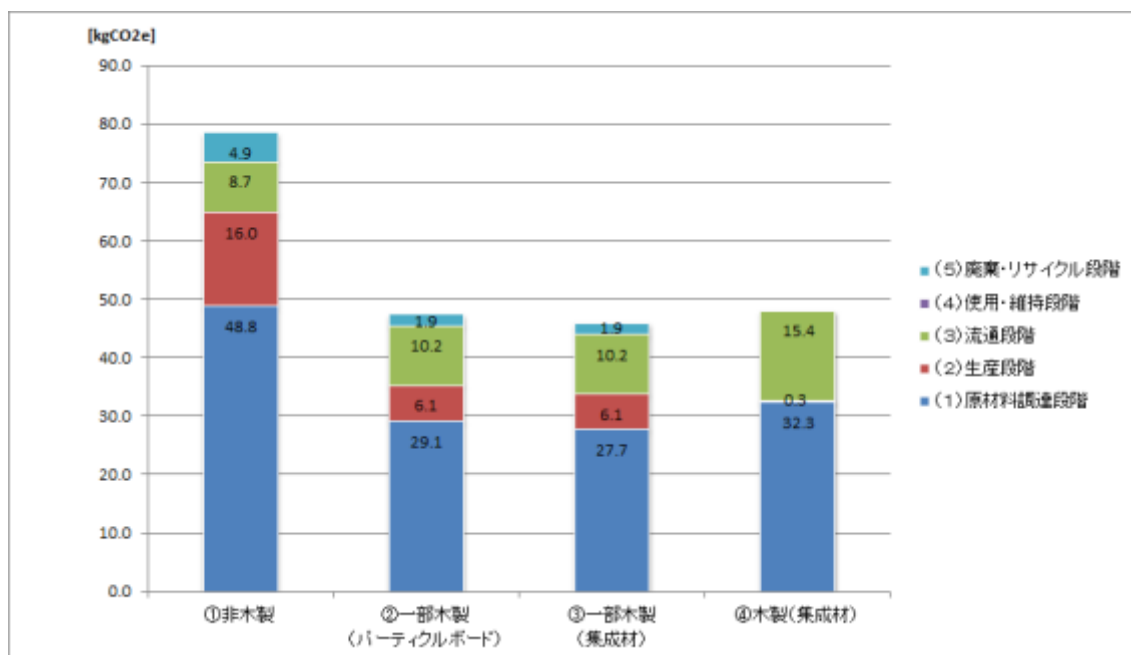
天板のみを木製に転換した場合（オプション①と②又は③との差分）と、脚のみを木製に転換した場合（オプション③と④との差分）とでは、天板のみ転換した場合の削減効果の方が大きい。天板と脚の重量はほぼ同じであるにも関わらずこの差が生じるのは、天板の塗装剤の製造や塗装自体に係るエネルギー消費量の影響が大きいためである。

また、オプション④の全て木製のデスクが、天板のみ木製のデスクより排出量が大きくなっているが、これは集成材の重量が大きいため原料及び製品輸送に係る排出量（トンキロ法で算出）が大きくなり LC-GHG 排出量に多大な影響を及ぼしている。本評価では、CFP-PCR のシナリオに基づき原料輸送距離は 500km、製品輸送は 1,000km と想定しており、この距離が短縮されれば、より排出量は低減されることとなる。

なお、集成材とパーティクルボードとの差は大きくないが、これは両者の密度は等しいと仮定しており原料製造原単位の違いのみが現れているためと考えられる。

表 3-67 LC-GHG 評価結果（オフィスデスク）

対象	非木製製品 (比較対象)	木製製品 (部分的に木製)	木製製品 (全て木製)
オフィス デスク	<b>オプション①</b> ● 天板：スチール ● 脚：スチール (製品重量：約 23.8 kg)	<b>オプション②</b> ● 天板：パーティクル ボード ● 脚：スチール (製品重量：約 28.5 kg)	<b>オプション④</b> ● 天板：集成材 ● 脚：集成材 (製品重量：約 45.1 kg)
		47.39 kgCO <sub>2</sub> e	
	78.46 kgCO <sub>2</sub> e	<b>オプション③</b> ● 天板：集成材 ● 脚：スチール (製品重量：約 28.5 kg)	47.95 kgCO <sub>2</sub> e
		45.92 kgCO <sub>2</sub> e	



	[kgCO <sub>2</sub> e]			
	①非木製	②一部木製 (パーティクルボード)	③一部木製 (集成材)	④木製(集成材)
(1) 原材料調達段階	48.8	29.1	27.7	32.3
(2) 生産段階	16.0	6.1	6.1	0.3
(3) 流通段階	8.7	10.2	10.2	15.4
(4) 使用・維持段階	0.0	0.0	0.0	0.0
(5) 廃棄・リサイクル段階	4.9	1.9	1.9	0.0
合計	78.46	47.39	45.92	47.95

図 3-70 オフィスデスク LC-GHG 排出量

### e. 削減ポテンシャル推計

オフィスデスクそのものの統計データが存在しないことから、職業別従業者数のうち「専門的・技術的職業従事者」「管理的職業従事者」「事務従事者」を、オフィスデスクを使用する職業と仮定し、これら職業の従業者数の合計（平成 22 年：2,431 万人）を、オフィスデスクの数と想定して、推計を行う。

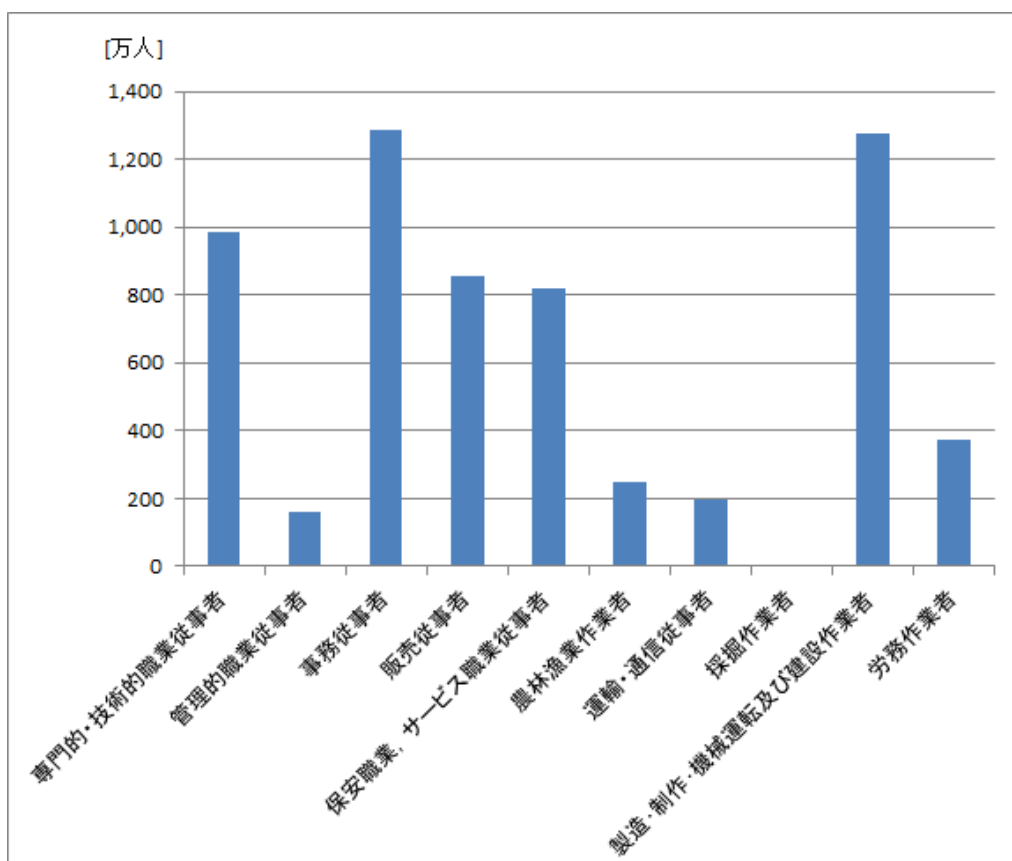


図 3-71 職業別従業者数（「労働力調査」総務省より MRI 作成（H22 年データ））

全てのオフィスデスクが次表の「現状ケース」から「木製利用ケース」に転換した場合の、GHG 削減量を推計する。

表 3-68 削減ポテンシャル推計ケース設定（オフィスデスク）

評価対象	現状ケース	木製利用ケース
オフィスデスク	天板：スチール、脚：スチール（オプション①）	天板：パーティクルボード、脚：スチール（オプション②）
		天板：集成材、脚：集成材（オプション④）

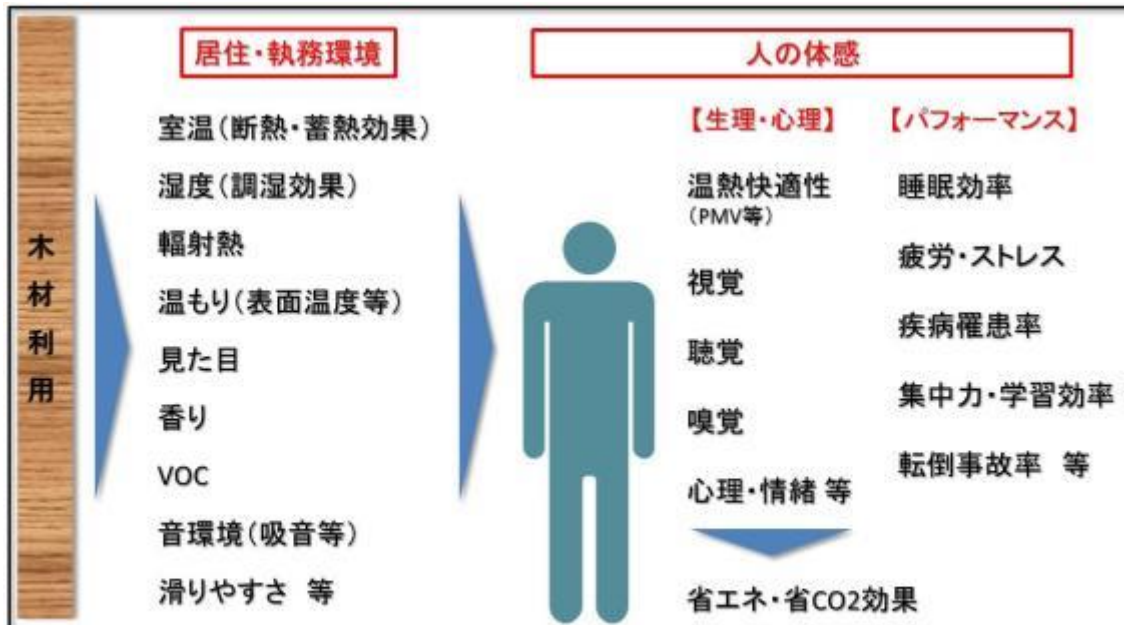
上記の設定のもと、非木製のオフィスデスクを、部分的に木製又は全て木製のものに転換した場合の削減ポテンシャルは、部分的に木製（オプション②）に転換した場合で約 76 万 tCO<sub>2</sub>e、全て木製（オプション④）の場合で約 74 万 tCO<sub>2</sub>e である。

表 3-69 削減ポテンシャル（オフィスデスク）

ケース	削減ポテンシャル [tCO <sub>2</sub> e]
オプション①(非木製)⇒②(一部木製)	755,117
オプション①(非木製)⇒④(全て木製)	741,625

### 3.1.4 断熱性・気密性や人の体感等も含めた効果的な木材利用方法の検討

木造施設と非木造施設における室内環境（及び空調負荷等）や快適性を測定調査、比較することにより、施設の木質化が室内環境及び人の体感に与える影響を定量的に実証した。



PMV(予測平均温冷感): 温熱快適性を表す指数で、温度環境に関する6要素(空気温度、平均輻射温度、風速、相対湿度、着衣量、代謝量)の組み合わせにより算出。±0.5の範囲内を快適領域としている。

図 3-72 木材利用が人の体感及び省エネ・省 CO<sub>2</sub> に及ぼす影響の体系イメージ



## (1) 木造校舎における検討

### 1) 測定対象施設

木造施設と非木造施設を可能な限り同一条件で測定可能な施設として、岩手県花巻農業高等学校を測定対象とする。同高校は、昭和 56 年に校舎（鉄筋コンクリート造）が竣工されたが、校舎拡張のため平成 26 年 3 月に、木造校舎が増築された。



図 3-73 木造校舎内外観

出典：花巻農業高校概要資料

#### ◆建築概要（木造校舎）◆

- ・木造 2 階、延床面積 815 m<sup>2</sup>
- ・総工費 216,152 千円（うち木工事費 171,738 千円）
- ・木材利用量 231 m<sup>3</sup>（遠野市産カラマツ集成材等）
- ・平成 26 年 3 月竣工

表 3-70 木造校舎・非木造校舎の比較

	木造校舎	非木造校舎
平面図		
内装	<p>木造校舎・環境科学科 1年 (平面図①)</p>	<p>非木造校舎・第二特別教室 (平面図②)</p>
窓ガラス	単窓 (ペアガラス、中空層 6mm)	二重窓 (単板ガラス)
Q 値 <sup>4</sup>	2階環境科学科 (集中測定対象) 3.48W/[ $m^2 \cdot K$ ]	3階第二特別教室 (集中測定対象) 3.64W/[ $m^2 \cdot K$ ]
暖房	<ul style="list-style-type: none"> <li>灯油ストーブ (出力 15.9kW)</li> <li>熱交換換気</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>灯油ストーブ (出力 11kW) 2台</li> <li>熱交換換気</li> </ul>
廊下	<p>木造校舎・2F廊下 (平面図③)</p>	<p>非木造校舎・3F廊下 (平面図④)</p>

<sup>4</sup> 省エネ計画書に記載された各室の仕様情報を基に計算。

木造校舎及びRC造校舎が異なる点として、木造校舎は躯体が木造、廊下・教室の内装が木質化されている一方で、RC造校舎は躯体・教室・廊下全て木造・木質化されていない点がある。木造・内装木質化の学校と非木造・内装非木質化の学校という対極にあるものを比較することにより、性能の違いがより顕著に現れることが予想される。

また、断熱性能を表す指標であるQ値（熱損失係数）は、木造教室で $3.48\text{W}/[(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$ 、RC造教室で $3.64\text{W}/[(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$ であり、木造教室の方が断熱性能がやや優れている。しかし、Q値の違いは4%程度であり、測定結果への影響は小さいと判断される。

その他、暖房設備の容量は、木造教室が15.9kW、RC造教室が計22kWであり、木造教室の方が容量が少ないため、暖房設備を使用した場合における教室室温及び教室足元温度の立ち上がり性状は、木造教室の方がRC造教室よりも不利な結果となることが予想され、測定結果への影響が大きい可能性がある。（※）

したがって、暖房設備容量の違いが測定結果に与える影響の補正方法として、測定用に暖房容量を統一したヒーター等を設置することが考えられ、次節の測定計画における「集中測定」において後述する。

## 2) 測定計画

### a. 木造施設の室内環境と省エネ省 CO<sub>2</sub>に関する仮説

木造施設は、非木造施設と比べた場合に比べて熱容量が小さい等の特性があり、室内環境やエネルギー消費量等に下記の影響を及ぼすことが想定されるため、花巻農業高校での室内環境測定を通じて検証していく。

#### ➤ 暖房立ち上がり時の温度上昇性状

木造施設は、一般に、RC 造の施設と比較して熱容量が小さいため、外部気温変化や暖冷房への応答が早い

⇒冬の朝に暖まりやすいため「暖房立ち上げ時間」が短縮され、省エネ省 CO<sub>2</sub> 効果が見込まれる。

(注) ここで、前頁 (※) のとおり、今回の実験においては、暖房設備容量の違いから木造教室の方が RC 造教室よりも不利な結果となる可能性もあるため、結果の分析・考察においては注意する。

#### ➤ 室温分布性状

木造施設は、一般に、RC 造の施設と比較して熱容量が小さいため、室温分布の均一性が高い

#### ➤ 生徒の主観的評価

木造施設は、上記の室温特性等により、生徒の主観的快適性や学習効率等への好影響がある

### b. 測定項目

測定方法として、(1) 定点測定 (コンパクトな計測器を室内に常時設置)、(2) 集中測定 (週末等の学生不在の期間を利用し、暖房容量等を制御して測定)、(3) アンケートによる主観調査 (教職員・学生にアンケート票配布) の 3 タイプを実施する。各測定項目を以下に示す。

#### (1) 定点測定

日常的な教室利用時における室内環境の実態を把握するため、コンパクトな計測器を教室内に常設し、定点測定をおこなう。ただし、木造教室と RC 造教室では暖房設備容量が異なるため、木造教室が不利な結果となりやすいこと (前頁 (※) 参照)、常に教室が使用されており、生徒の出入りにより室温等に乱れが生じやすいこと、また、生徒の教室利用スケジュールがそれぞれ異なるため、その乱れの具合も同じではないことから、測定結果の分析・考察には注意する必要がある。

#### (2) 集中測定

上記 (1) で述べたように定点測定の選定条件が異なることにより結果に際が生じる可能性があるため、木造教室と RC 造教室で可能な限り統一し、理想的な測定環境にするため、設備容量を統一した暖房設備 (ヒーター) を各教室に設置し、週末の学生のいない無人の状態、木造教室と RC 造教室における室内環境を測定した。

(3) アンケートによる主観調査

木造教室、RC造教室の室内環境の違いが生徒の主観（快適性、学習効率等）に与える影響を把握するため、生徒へのアンケート調査を実施した。

ア) 定点測定

■ 測定計画

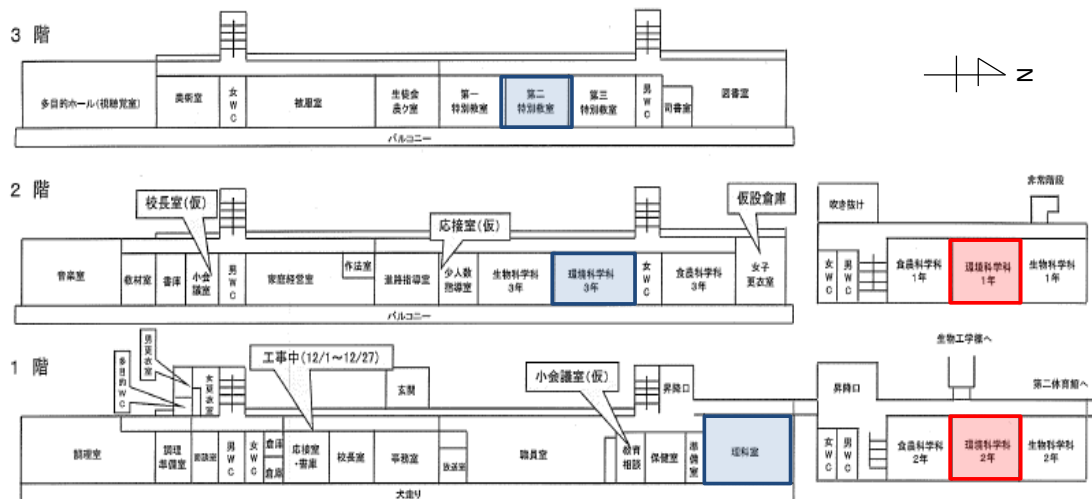
- 室内の温度・湿度：小型温湿度計測器を常時設置し、5分間隔で計測
- 輻射温度（体感温度）：小型グローブ温度計を常時設置し5分間隔で計測
- 外気温：小型温湿度計測器を屋外（学校玄関付近）に常時設置し5分間隔で計測
- 測定期間：平成26年12月17日～平成27年2月10日



図 3-74 左：温度計測器 中央：温湿度計 右：グローブ温度計（いずれも T&D 社製）

測定対象教室は、以下の観点から5つの教室を選定した。

- 木造校舎・非木造校舎ともに、可能な限り同等な床面積の一般教室を各フロアから1室ずつ選定（ただし、非木造校舎1Fには一般教室がないため、参考値として理科室を選定）
- 壁からの熱の流出入の影響を可能な限り統一するために、左右隣ともに教室に囲まれている教室を選定（ただし、非木造校舎1Fの理科室は除く）



階	非木造教室	木造教室	階
3F	第2 特別教室	—	—
2F	環境科学科 3年（予備）	環境科学科 1年	2F
1F	理科室（予備）	環境科学科 2年（予備）	1F

図 3-75 測定対象部屋

■ 計測器の設置方針

計測器の設置箇所を以下に示す。

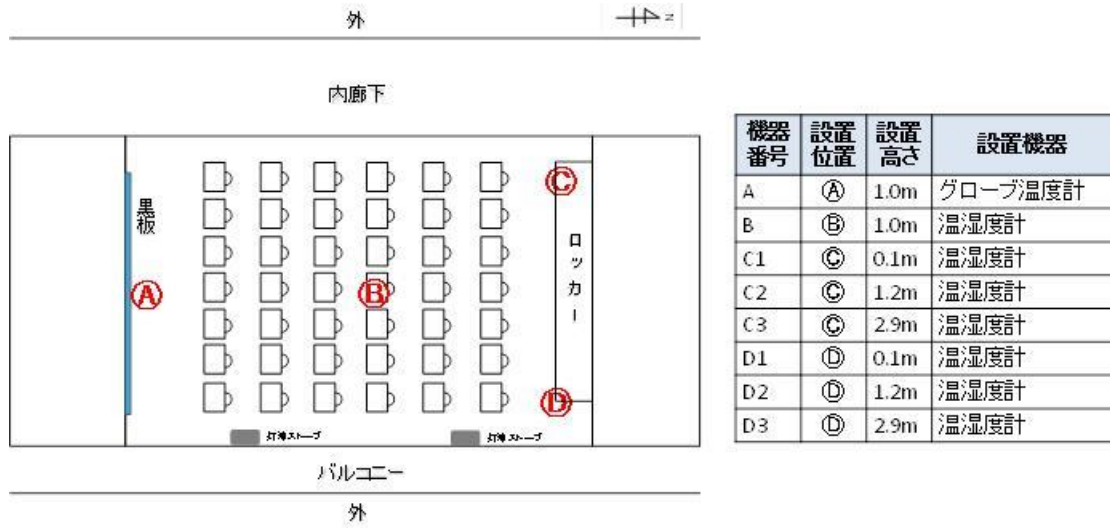


図 3-76 計測器の設置箇所

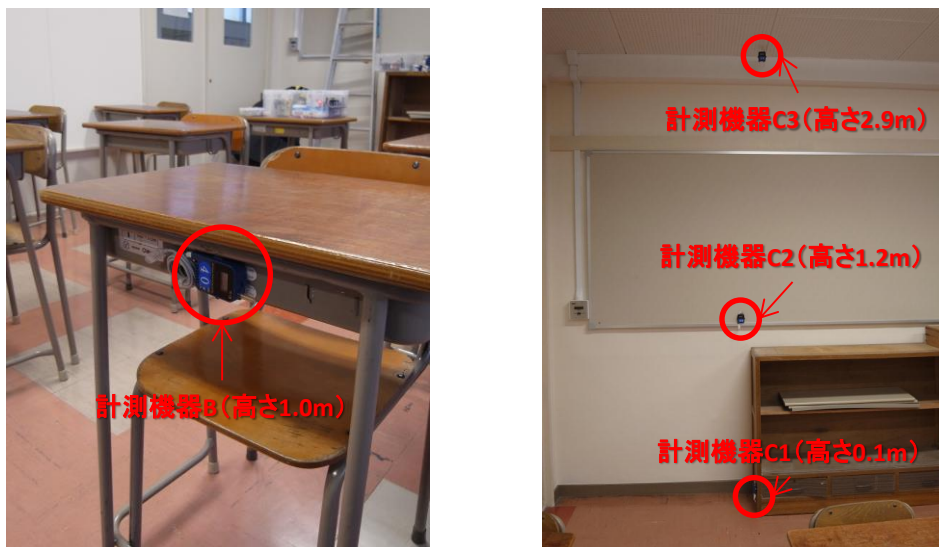


図 3-77 計測器の設置例（第2特別教室）（左：設置位置Ⓑ、右：設置位置Ⓒ）

なお、計測結果を分析するにあたり、教室内での温度分布が不均一である可能性を考慮し、複数箇所での計測結果の平均値を用いる必要がある。次頁以降の定点測定の実験結果における「室温」および「足元温度」は、以下の算定式に基づき平均化処理した。

$$\text{室温(}^\circ\text{C)} = \frac{\text{機器Bの温度} + \text{機器C2の温度} + \text{機器D2の温度}}{3}$$

$$\text{足元温度(}^\circ\text{C)} = \frac{\text{機器C1の温度} + \text{機器D1の温度}}{2}$$

$$\text{垂直温度差(}^\circ\text{C)} = \frac{(\text{機器C3の温度} - \text{機器C1の温度}) + (\text{機器D3の温度} - \text{機器D1の温度})}{2}$$

ここで、「室温」の平均化処理にあたっては、機器によって設置高さがわずかに異なっているが（機器 B：1.0m 高さ、機器 C2 及び機器 D2：1.2m 高さ）、高さ 0.2m の違いによる計測結果への影響は無視できるとものとした。

## ■ 分析方針

5つの測定対象室のうち、最上階である【非木造3階（第二特別会議室）】と【木造教室2階（環境科学科1年）】の測定結果を分析対象とした。その理由として、両教室は最上階であり、左右隣を一般教室に囲まれているという条件が共通しており、外部（天井、壁、床面）から受ける熱の影響が最も近似しているためである。

測定期間は平成26年12月17日～平成27年2月10日である。分析にあたっては、暖房運用時間帯が出来る限り一致する日を抽出し、具体的には、平成27年1月13日～2月10日<sup>5</sup>のうち平日（祝祭日を除く）を分析対象とした。

上記の分析対象について、前述の「木造施設の室内環境と省エネ省CO<sub>2</sub>に関する仮説」のうち、「暖房立ち上がり時の温度上昇性状」、及び「温度分布性状」に着目した分析を実施した。

なお、5つの測定対象室のうち、比較分析対象となる2室を除いた3室については、当該比較分析対象となる2室の測定機器の不具合等により測定が十分に行われなかった不測の事態に備え、予備的に測定したものである。本実験においては、比較分析対象となる2室の測定が問題なく実施できていたため、残り3室については、ここでは分析対象としない。

また、グローブ温度計については、通例として測定環境の放射と対流による平衡温度を得るために日射等の影響のない黒板下部に設置したものである。放射と対流が大きい場合には温湿度計のデータではなくグローブ温度計のデータを用いる必要があるが、計測の結果、温湿度計のデータとグローブ温度計のデータが概ね同じ挙動を示すことが確認できたことから、温湿度計における計測結果を分析対象とし、グローブ温度計の計測結果は分析対象外とした。

---

<sup>5</sup>平成26年12月17日～平成27年1月12日は、冬期休暇の前後となる期間であり、データの連続性の観点から分析対象外とした。



■測定結果①：暖房立ち上がり時の温度上昇性状

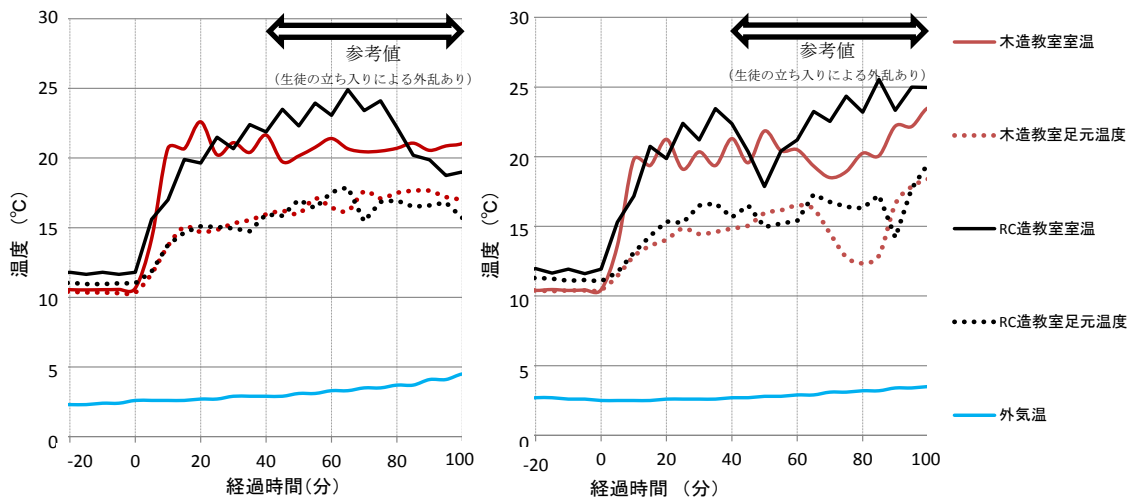


図 3-78 室温及び足元温度の計測例（左図：1月16日、右図：1月23日）

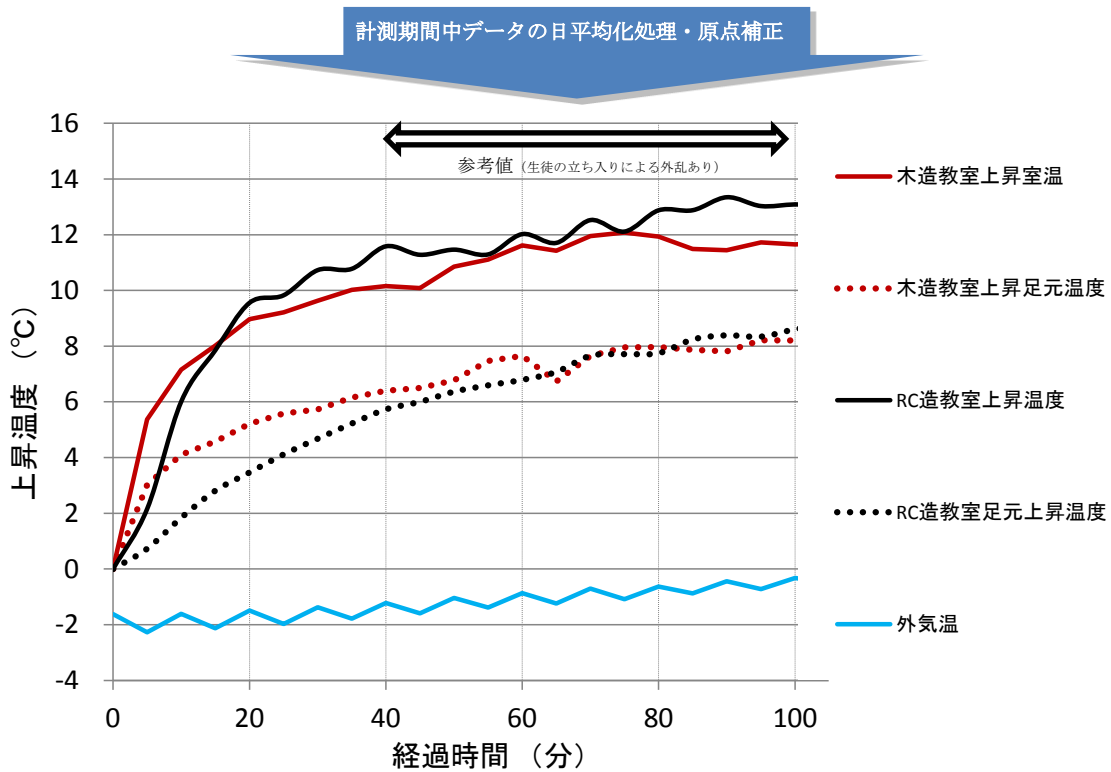


図 3-79 暖房運転開始時の温度上昇変化  
(1月13日～2月10日の平日暖房運転時の平均値)

室温等の測定結果の二例（1月16日、1月23日）を上図に示す。暖房開始前は木造教室の室温はRC造教室よりも低い、暖房開始後から室温の立ち上がりは、木造教室の方が早い傾向にあり、約20分程度が経過すると、木造教室の室温はRC造教室の室温と同等あるいはやや高くなる傾向が確認された。暖房開始20分以降は、RC造教室の方がやや室温が高い傾向にある。ただし、1月16日及び23日の測定結果から読み取れるように、暖房開始40分頃から、教室への生徒の出入りが始まることにより教室外の冷気が室内に侵入し、

室温の推移が不安定になっていることから、暖房開始後 40～100 分の区間は参考値扱いとして示している。

単一日の分析では、生徒の立入や気温変動等の影響により有意な傾向を考察することが難しいため、1月13日～2月10日の暖房稼働日（平日（祝祭日を除く））を対象に日平均化処理および原点補正（暖房開始時の温度を基準とし、そこからの差分を上昇温度とする）をおこない、計測期間全体を通じた傾向を分析した結果を図 10 に示す。

ここで、上昇室温とは暖房開始時の教室温度を基準（0）とし、そこからの差分を上昇温度として表す指標であり、足元上昇温度も同様である。

上昇室温に着目すると、暖房開始直後から約 15 分まで木造教室のほうが RC 造教室よりも高い傾向が見られ、暖房立ち上がり時においては木造教室の方が優位である結果となった。一方、暖房開始後約 15～20 分が経過すると、RC 造教室の方が木造教室よりも上昇温度がやや高い傾向が見られた。このような傾向が見られた理由として、暖房開始直後は木造教室の熱容量が RC 造教室と比較して小さいため、木造教室の上昇室温がより高くなったが、一定時間が経過すると両教室ともに暖められ、暖房設備容量が大きい RC 造教室の方が上昇室温が高くなったものと考えられる。

また、足元上昇温度については、木造教室のほうが立ち上がり時間が早く、一定時間経過後はおおむね RC 造教室と同等の温度を維持していることが確認された。

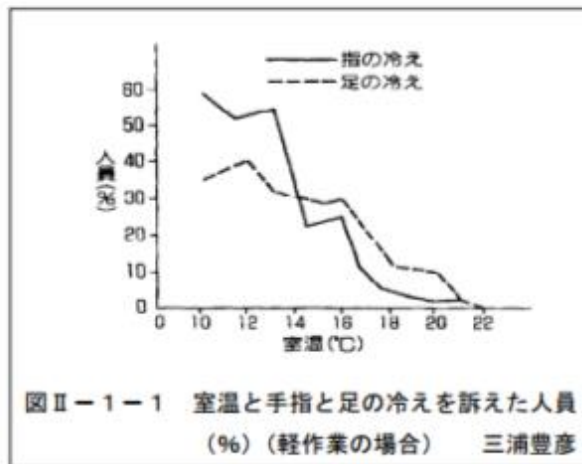
## ■測定結果②：室温分布性状

学校環境衛生基準においては、冬の教室の室温は 10℃以上であることが望ましく、心理的に負担をかけない最も学習に望ましい条件は、冬期で 18～20℃程度である旨が規定されている。また、当該基準において垂直温度差に関する記述はなく、その他参考となる基準も存在しないが、一般的に垂直温度差が小さいほうが望ましいと考えられるため、本分析では、望ましい条件として、垂直温度差が 5℃以下として設定した。つまり、望ましい室温状態として、「室温 18～20℃、垂直温度差 5℃以下」として仮に設定した。

### (2) 温度

教室等の温度は、人間の生理的な負担を考えると、夏は 30℃以下、冬は 10℃以上であることが望ましい。

室温と手指及び足の冷えの状態をみると、図Ⅱ-1-1に示したとおりである。この図から分かるように、手指の冷えを訴えるものは、10℃では半数を超えるが、14℃前後では約 30%と少なくなり、16℃以上では 20%以下に減少する。このことから、季節や地域によって違いはあるものの、室温が体に大きな影響を及ぼすことが分かる。なお、教室等での室温測定は中央部のみでなく、教室等の数か所での水平温度分布（平面分布）や、垂直温度分布（温度勾配）測定を行い、評価することが望ましい。



児童生徒等に生理的、心理的に負担をかけない最も学習に望ましい条件は、冬期で 18～20℃、夏期で 25～28℃程度である。

出典：文部科学省「学校環境衛生基準」

木造教室及び RC 造教室について、学校環境衛生基準を踏まえ設定した望ましい室温状態がどの程度実現できているかを分析するため、1月13日～2月10日の暖房稼働時間帯における、室温および垂直温度差の分布を次頁図に示した。なお、室温は高さ 100cm および 120cm 位置の温度の平均値、垂直温度差とは、天井 10 cm と床 10 cm の温度差を指す (P.41 の算出式を参照)。

図 13 及び表 2-13 に示す通り、木造教室は、室温が 18～20℃、垂直温度差 5℃以内を実現している時間帯が全暖房時間の 7.9%を占めているのに対し、RC 造教室は 4.9%であり、木造教室の方が望ましい室温状態が保たれている時間帯がやや長い傾向が示された。この結果について、統計的な有意差を判定する手法は確立されていないため、有意差の判定が困難であることに留意する必要がある。

なお、ここでは望ましい条件として、垂直温度差が 5℃以下として分析したが、5℃以下の場合以外（10℃、3℃、2℃、1℃）についても同様に、木造教室の方が望ましい室温状態が保たれている傾向が示された（表 2-13 参照）。

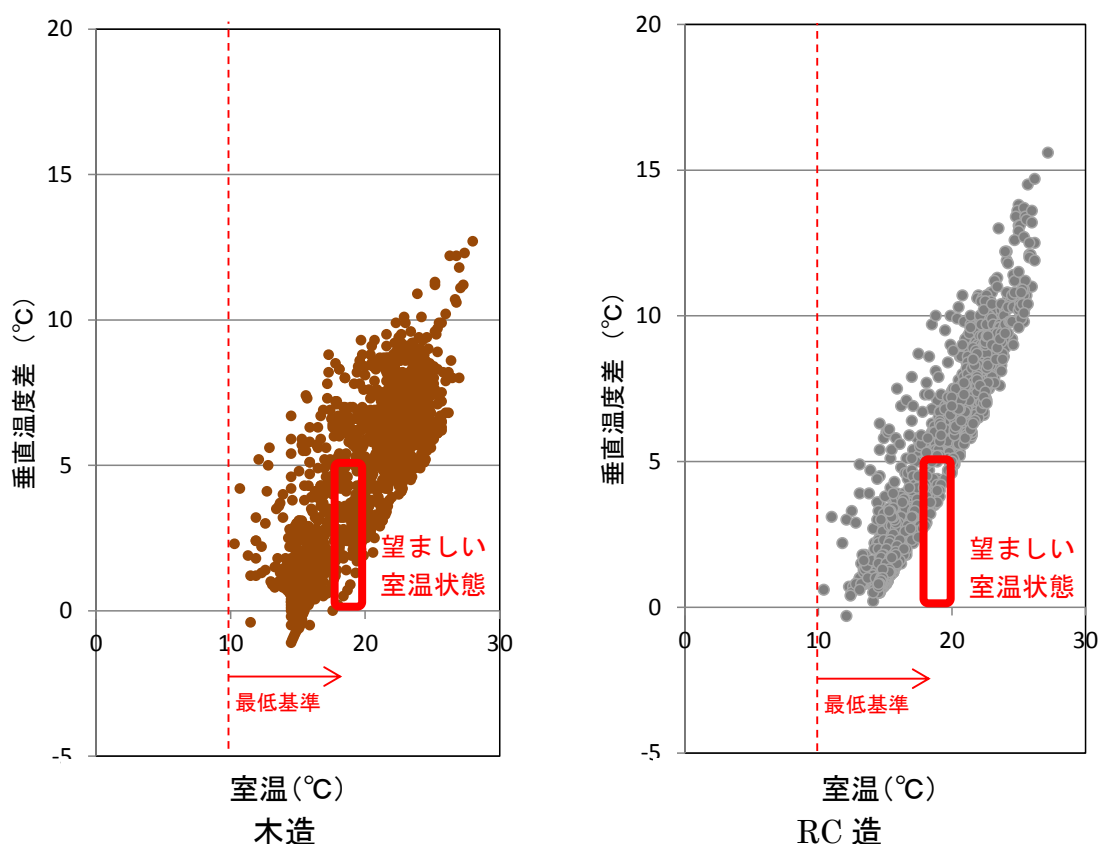


図 3-80 教室内の室温<sup>6</sup>と垂直温度差<sup>7</sup>の分布  
 (期間：1/13～2/10 の暖房稼働時間帯)

表 3-71 室温・垂直温度差別の累積時間（期間：1/13～2/10 の暖房稼働時間帯）

室温	垂直温度差	木造教室		RC 造教室	
全暖房時間		210.0 時間	100%	210.0 時間	100%
18～20℃	10℃以内	29.8 時間	14.2%	23.2 時間	11.0%
	5℃以内	16.7 時間	7.9%	10.3 時間	4.9%
	3℃以内	8.7 時間	4.1%	0.3 時間	0.2%
	2℃以内	2.3 時間	1.1%	0.0 時間	0.0%
	1℃以内	0.7 時間	0.3%	0.0 時間	0.0%

<sup>6</sup> ここでいう「室温」とは、B（高さ 100cm）、C2,D2（いずれも高さ 120cm）の平均値を指す

<sup>7</sup> ここでいう「垂直温度差」とは、C1,D1（いずれも天井下 10 cm）と C2,D2（いずれも床上 10 cm）の温度差の平均値を指す

(参考) 全時間帯 (暖房非稼働時間も含む) における温度分布性状

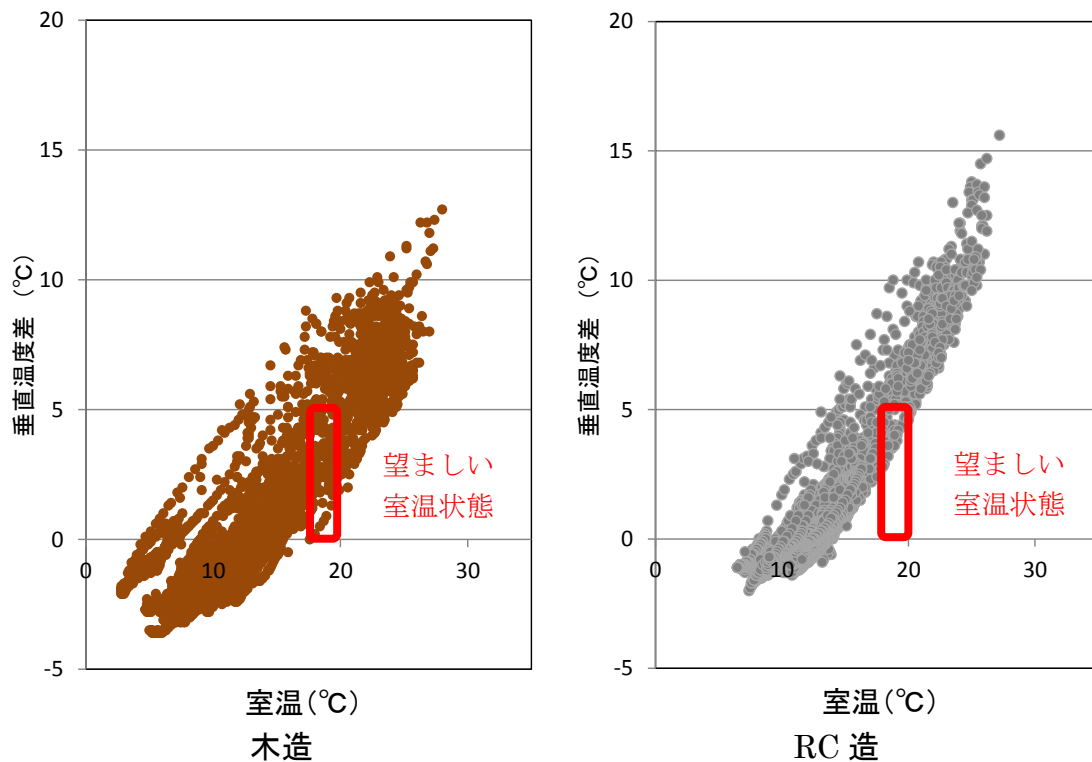


図 3-81 教室内の室温と垂直温度差の分布  
(期間：1/13～2/10 の全時間帯 (暖房非稼働時間も含む) )

#### 【定点測定の総括】

前述 (※) の通り、暖房設備容量の違いにより木造教室の方が RC 造教室よりも不利になるという可能性があったが、木造教室は暖房開始直後の温度上昇性状や、室温分布性状において RC 造教室より有利な特性を有する傾向が確認された。これは、木造教室の熱容量が RC 造教室と比較して小さいためであると考えられるが、実際、部材単位での比較では木の方がコンクリートより熱容量が小さいことが知られており、こうした既知の情報とも符合する結果となっている。

ここで、上記の定点測定結果は、本実験の対象校舎の木造・RC 造教室で比較条件が必ずしも統一されておらず、暖房設備容量や、教室利用スケジュールの違いがあるというように、前提条件が異なることによる影響が含まれており、これらの影響が必ずしも取り除けたわけではないことに留意する必要がある。こうした前提条件の違いによる影響を排除するため、可能な限り条件を統一させた集中測定試験について次節 (b.集中測定結果) で詳述する。

## イ) 集中測定 (2015 年 1 月 31 日 (土) に実施)

これまでの定点測定結果は、木造・RC 造教室で比較条件が必ずしも統一されておらず、特に暖房設備容量の違いや、教室利用スケジュールの違いによる影響が含まれている。こうした前提条件の違いによる影響を排除するため、可能な限り条件を統一させた集中測定試験を実施し、木造校舎と非木造校舎の熱的特性の差異を分析した。

具体的には、暖房設備については、設備容量による違いの影響を排除するために、ヒーターを各教室に持ち込み、同一の発熱量となるよう制御して集中測定試験を実施した。また、生徒の立入等による外乱の影響を排除するため、週末の生徒が不在期間を利用し、教室を締め切った無人の状態で行った<sup>8</sup>。

ただし、この測定においても断熱性能の差異があるが (木造教室  $3.48\text{W}/[(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$ 、RC 造教室  $3.64\text{W}/[(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$ )、差異は 5% 程度に収まっており、測定結果への影響は小さいと考えられる。

### ■ 測定計画

- 測定対象室は最上階の【非木造 3F 第 2 特別教室】と【木造 2F 環境科学科 1 年】  
(定点測定の分析対象教室と同様)
- 室温立ち上がり試験：ヒーターを持ち込み、温度や加熱量を制御した環境で暖房立ち上がりまでの温度性状・所要時間を測定し、木造・非木造による差を比較
- 表面温度：サーモグラフィにより、任意時点 (昼・夕等) に計測  
：壁表面・床表面・天井表面温度を 1 分間隔で計測
- 輻射温度 (体感温度)：グローブ温度計により 1 分間隔で計測
- 室設定及び暖房方法
  - ・暖房方法は設備容量の違いの影響を排除するために、教室の暖房設備は使用せず、発熱量を制御するために電気ヒーターを利用した
  - ・暖房は、木造教室及び RC 造教室ともに 12 時 45 分に開始し、14 時 45 分に停止した
  - ・照明は点灯したままとした
  - ・カーテンは開けた状態とした
  - ・設置済みの換気扇 (熱交換換気) は停止し、室内空気の換気・攪拌等は実施しなかった
- 当日の天候：終日曇であった

---

<sup>8</sup> 厳密には、測定者が試験状況確認のために 30 分おきに教室内に立ち入っているが、扉の開け閉めを最小限に留めるよう配慮しており、測定結果の影響は無視できるものとした。

■ 計測機器の設置箇所

計測機器の設置箇所を以下に示す。各教室に計 9 箇所（下図①～⑨）の突っ張り棒を設置し、教室中心部に近く代表的な温湿度を把握する上で重要となる②④⑤⑥⑧には高さ 0.0m（床表面）、0.1m、1.0m、1.8m、3.0m（天井）地点にそれぞれ温湿度計と、高さ 1.0m 地点にグローブ温度計を設置し計測を行った。なお、教室中心部から遠く室内の熱の対流や外部からの影響を受けやすいと考えられる①③⑦⑨については上下温度差の測定は行わず、室温の平均値導出に用いる目的で高さ 1.0m 地点に温湿度計を設置し計測を行った。

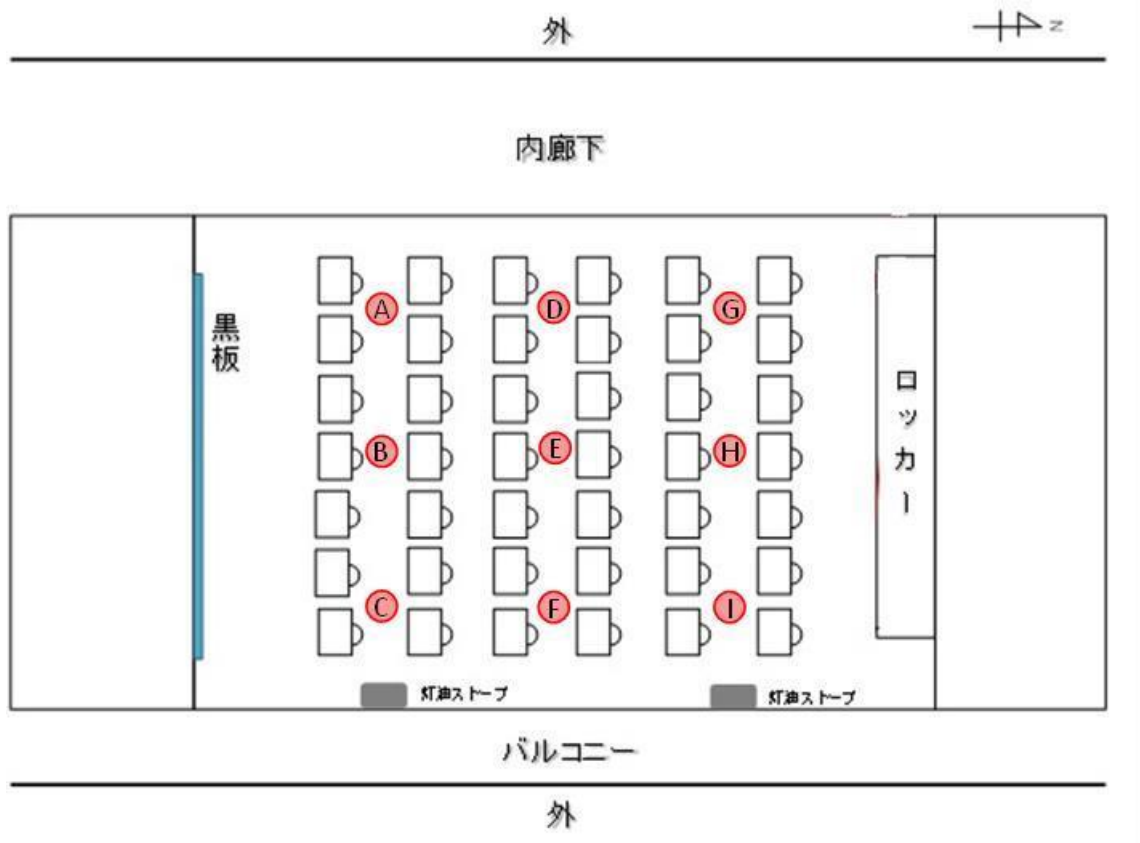


図 3-82 計測器の設置箇所

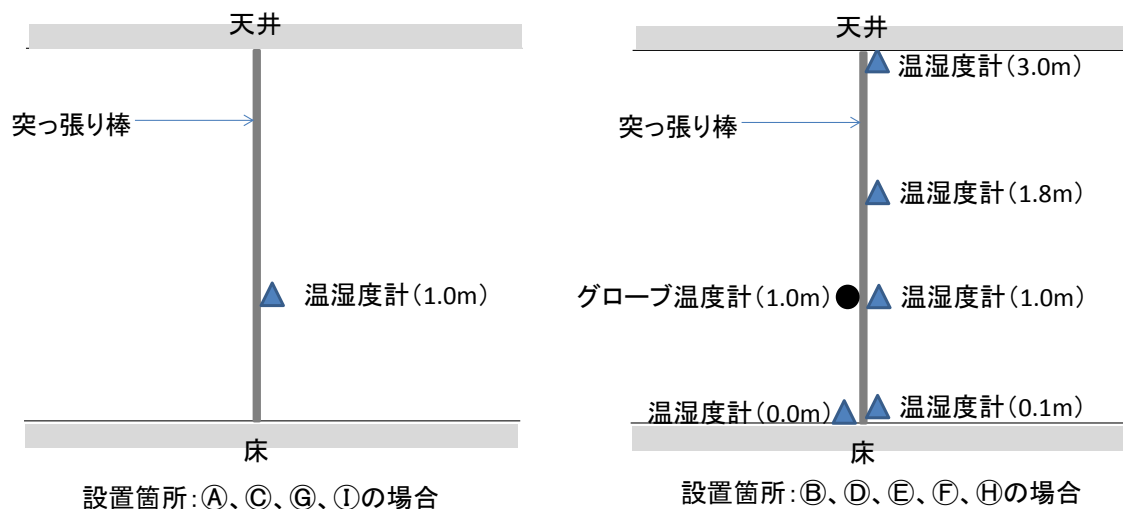


図 3-83 計測器の設置方法



図 3-84 測定風景（木造 2F 環境科学科 1 年）

表 3-72 設置機器の一覧リスト

機器番号	設置箇所	設置高さ	設置機器
A	Ⓐ	1.0m	温湿度計
B1	Ⓑ	0.0m	温湿度計
B2	Ⓑ	0.1m	温湿度計
B3	Ⓑ	1.0m	温湿度計
B4	Ⓑ	1.0m	グローブ温度計
B5	Ⓑ	1.8m	温湿度計
B6	Ⓑ	3.0m	温湿度計
C	Ⓒ	1.0m	温湿度計
D1	Ⓓ	0.0m	温湿度計
D2	Ⓓ	0.1m	温湿度計
D3	Ⓓ	1.0m	温湿度計
D4	Ⓓ	1.0m	グローブ温度計
D5	Ⓓ	1.8m	温湿度計
D6	Ⓓ	3.0m	温湿度計
E1	Ⓔ	0.0m	温湿度計
E2	Ⓔ	0.1m	温湿度計
E3	Ⓔ	1.0m	温湿度計
E4	Ⓔ	1.0m	グローブ温度計
E5	Ⓔ	1.8m	温湿度計
E6	Ⓔ	3.0m	温湿度計

機器番号	設置位置	設置高さ	設置機器
F1	Ⓕ	0.0m	温湿度計
F2	Ⓕ	0.1m	温湿度計
F3	Ⓕ	1.0m	温湿度計
F4	Ⓕ	1.0m	グローブ温度計
F5	Ⓕ	1.8m	温湿度計
F6	Ⓕ	3.0m	温湿度計
G	Ⓖ	1.0m	温湿度計
H1	Ⓖ	0.0m	温湿度計
H2	Ⓖ	0.1m	温湿度計
H3	Ⓖ	1.0m	温湿度計
H4	Ⓖ	1.0m	グローブ温度計
H5	Ⓖ	1.8m	温湿度計
H6	Ⓖ	3.0m	温湿度計
I	Ⓖ	1.0m	温湿度計



## ■ 分析方針

測定対象室は最上階の【非木造 3F 第 2 特別教室】と【木造 2F 環境科学科 1 年】において同条件（同時刻、同一の床面積当たりヒーター発熱量（85W/m<sup>2</sup>））で試験を実施する。

分析にあたっては、前述の「木造施設の室内環境と省エネ省 CO<sub>2</sub> に関する仮説」のうち、「暖房立ち上がり時の温度上昇性状」、及び「温度分布性状」に着目した分析を実施し、特に「暖房立ち上がり時の温度上昇性状」からは暖房立ち上がり時間短縮による省エネ省 CO<sub>2</sub> 効果を推計した。

なお、計測結果を分析するにあたり、教室内での温度分布が不均一である可能性を考慮し、複数箇所での計測結果の平均値を用いる必要がある。次頁以降の集中測定の分析結果における「室温」「グローブ室温」および「床表面温度」は、以下の算定式に基づき平均化処理した。

室温(°C) = 設置箇所①～④における高さ1.0m地点の温度の平均値

グローブ室温(°C) = 設置箇所⑤⑥⑦⑧⑨における高さ1.0m地点のグローブ温度の平均値

床表面温度(°C) = 設置箇所⑤⑥⑦⑧⑨における床表面（高さ0.0m）の温度の平均値

■測定結果①：暖房時立ち上がり時の温度上昇性状

暖房開始後の各教室における室温及びグローブ室温の推移を以下に示す（上図：室温、下図：グローブ室温）。暖房開始前は、木造教室、RC造教室ともに室温が概ね等しいが、暖房開始後は、木造教室の方がRC造教室よりも温度上昇が速い傾向が見られ、暖房開始1時間後の室温上昇は木造教室で5.7℃上昇、RC造教室で4.1℃上昇となった。グローブ温度においても同様に木造教室の方が温度上昇が速い傾向が見られた。

上記の集中測定試験の結果、木造教室が暖房立ち上げ時の室温上昇においてRC造教室よりも有利であることが示された。

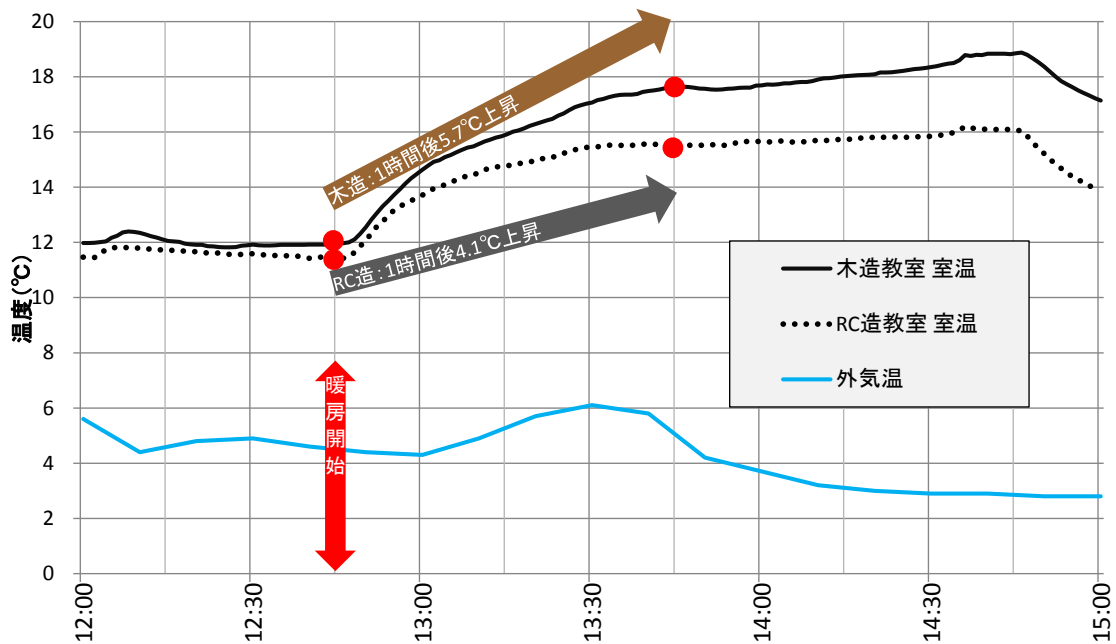


図 3-85 暖房試験時の室温立ち上がり状況 (室温)

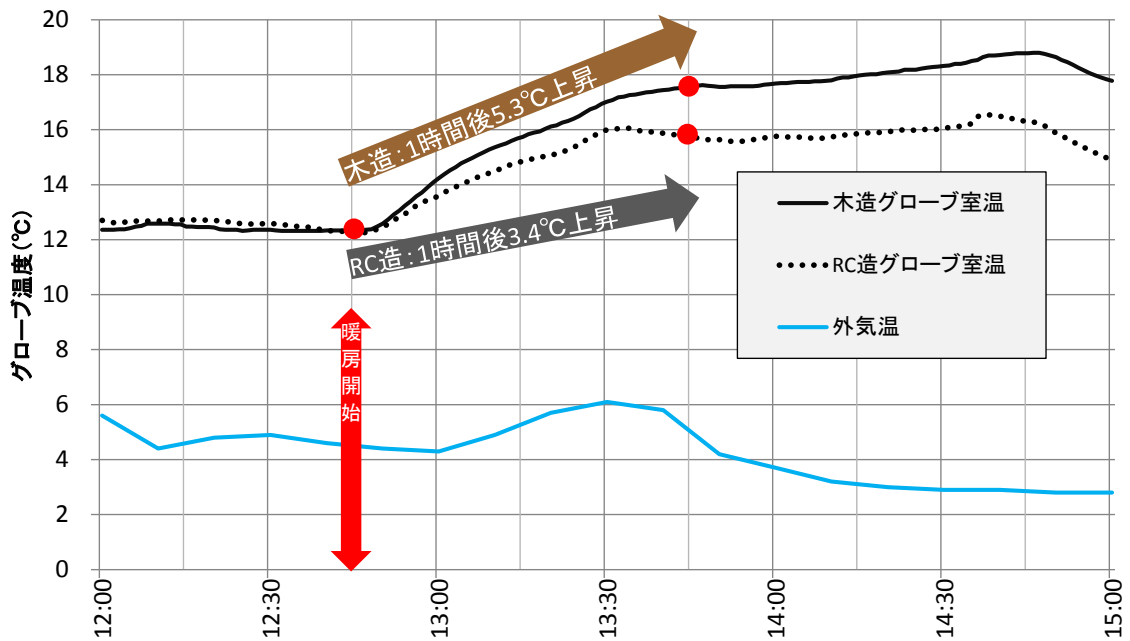


図 3-86 暖房試験時の室温立ち上がり状況 (グローブ室温)

■測定結果②：暖房時立ち上がり時間の短縮に伴う省エネ省 CO<sub>2</sub> 効果

	木造校舎	RC造校舎
床面積当りの発熱量	85W/m <sup>2</sup>	84W/m <sup>2</sup>
床面積	71 m <sup>2</sup>	54 m <sup>2</sup>
暖房出力	6040W	4530W
1℃上昇所要時間	9分	11分
2℃上昇所要時間	15分	22分
3℃上昇所要時間	24分	38分

室温上昇に必要な暖房エネルギー消費量	木造校舎	RC造校舎
1℃上昇	13Wh/m <sup>2</sup>	15Wh/m <sup>2</sup>
2℃上昇	21Wh/m <sup>2</sup>	31Wh/m <sup>2</sup>
3℃上昇	34Wh/m <sup>2</sup>	53Wh/m <sup>2</sup>

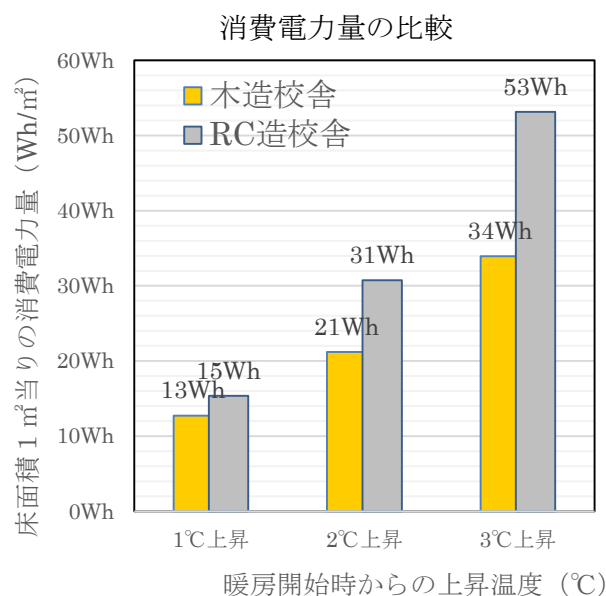


図 3-87 暖房時における消費電力量の比較

暖房の立ち上がりに要する時間が、木造教室の方が RC 造教室と比較して短く、立ち上がり時間短縮分が省エネ・省 CO<sub>2</sub> 効果として見込まれる結果となった。室温 3℃を上昇させるための暖房エネルギー消費量を比較すると、木造教室は RC 造教室に対して約 36%の削減という結果が得られた。

集中測定試験においては、測定条件を可能な限り統一しており（暖房設備容量、暖房スケジュール等）、上記の暖房エネルギー削減効果は、主に木造教室の熱容量（蓄熱効果）が少ないことに起因していると考えられる。

■測定結果③：温度分布性状（特に、床表面温度、上下温度分布）

木造教室は、暖房開始に伴い床表面温度が1時間で2.8℃上昇したのに対し、RC造教室の床表面温度の上昇はわずかであり、1時間で0.7℃の上昇に留まる。この結果から、暖房立ち上げ時の床表面温度の上昇、すなわち足元の寒さの解消において、木造教室がRC造教室よりも有利であることが示された。

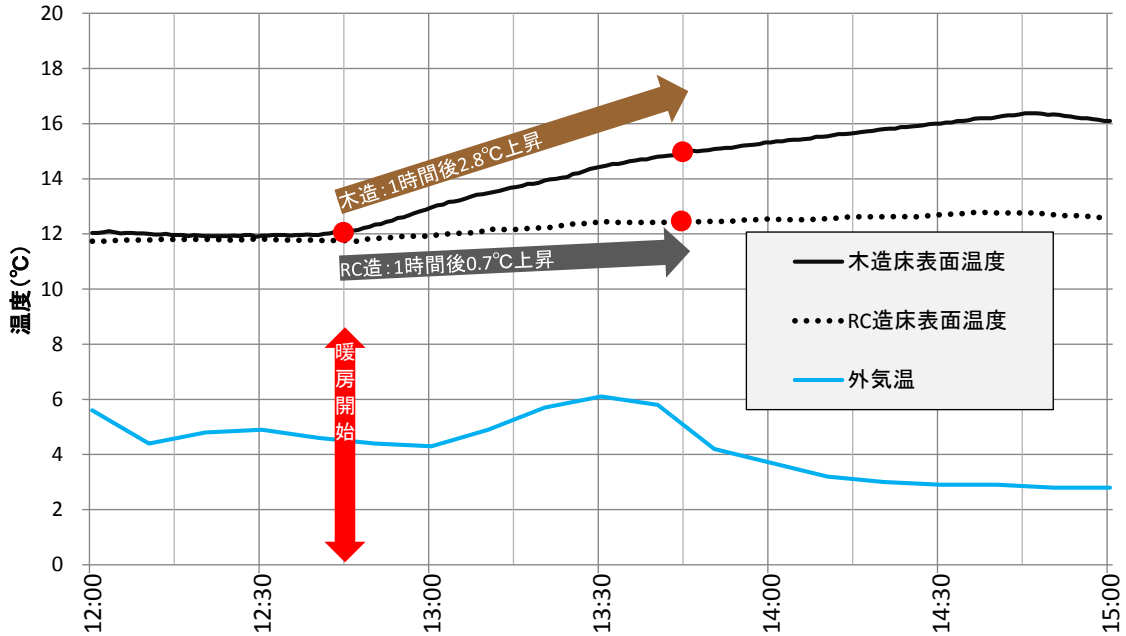


図 3-88 暖房時における床表面温度変化

また、暖房開始1時間後における上下温度分布をみると、高さ0.0m(床表面)、0.1m、1.0m、1.8m、高さ3.0m(天井)のいずれの測定位置においても木造教室の方が温度が高い。更にそれぞれの温度差は、1.0m付近で最も小さく、床・天井に向かうにしたがって大きくなる傾向がみられることから、床・天井の部材の蓄熱性能や断熱性能の違いが床表面や天井付近の温度に影響を与えていると解釈できる。

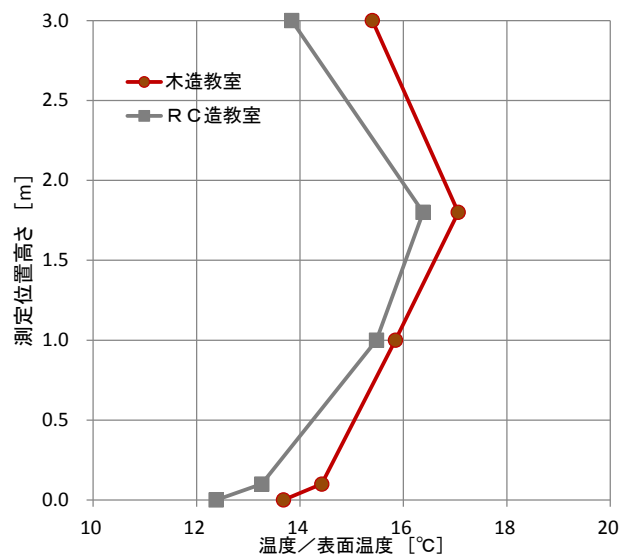


図 3-89 暖房時における上下温度分布（暖房開始1時間後（13時45分時点））

(参考) サーモビューアによる教室内の表面温度の様子

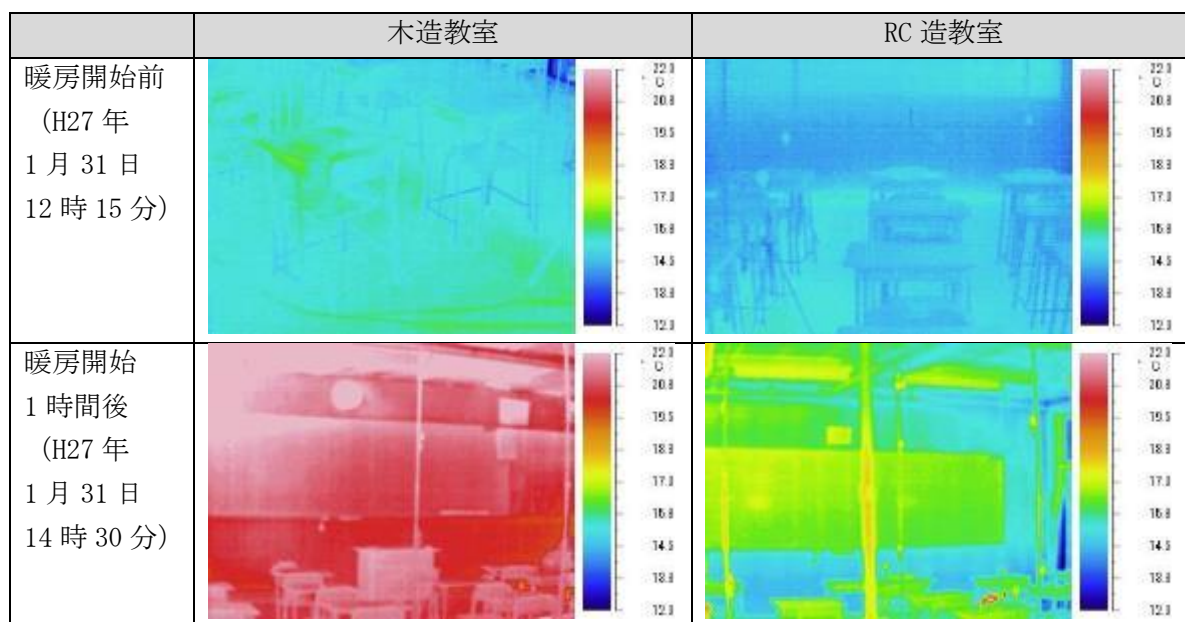


図 3-90 サーモビューアによる教室内の表面温度の様子

木造教室と RC 造教室について、サーモビューアによる表面温度の状況比較を行った。

この比較では、同一条件での暖房でありながら、開始から 1 時間を経過すると表面温度の顕著な差がみられるということがわかる。これは、前述してきているとおり、木造教室の熱容量が RC 造教室と比較して小さいことに起因すると考えられるが、室内表面温度にその差が顕著に現れることを読み取ることが出来る。

■ 測定結果まとめ

定点測定結果より、木造教室においては特に暖房開始時の立ち上がりにおいて RC 造教室より有利な特性を有する傾向が確認された。さらに、暖房設備容量等の条件を可能な限り統一した集中測定を実施したところ、同様の暖房開始時の立ち上がりにおいて木造教室の方が有利であるという傾向が確認され、立ち上がり時間の短縮に伴う省エネ省 CO<sub>2</sub> 効果を約 36%と推定した。また、木造教室は、RC 造教室よりも床表面温度が暖まりやすく、足元の寒さが改善され易い特性が示された。

なお、今回の実験では、木造・内装木質化の学校と非木造・内装非木質化の学校という対極にあるものを比較することにより、性能の違いがより顕著に現れることを期待したものである。RC 造の学校であっても内装を木質化すれば、室温立ち上がり性状や、上下温度分布が改善される可能性があることに留意する必要がある。

ウ) アンケートによる主観評価 (平成 27 年 2 月 20 日に実施)

■ アンケート調査概要

室内環境や内装木質化等に対する学生の満足度や、学習効率への影響等を評価するため、国土交通省／知的生産性研究委員会が開発した SAP(Subjective Assessment of Productivity) の質問項目を参考に、学生へのアンケート調査を実施した。SAP は、オフィスワーカーを対象にした質問票であるため、高校生向けにアレンジし、さらに木造校舎に関する設問等を追加した調査票を作成した (次頁以降参照)。

なお、木造校舎と非木造校舎の両方への在室経験を持つ 2 年生は、木造校舎と非木造校舎のそれぞれについて調査した。

表 3-73 各学年の教室タイプと配布調査票

学年	教室	調査票
1 年生 (全 119 名)	木造教室のみ	現在の教室の室内環境を調査
2 年生 (全 109 名)	昨年度に RC 造教室、 今年度から木造教室	木造・RC 造教室の両方を体験しているため、それぞれの教室における室内環境を調査
3 年生 (全 122 名)	RC 造教室のみ	現在の教室の室内環境を調査

下記の項目について、あてはまる番号に○をつけてください。

1. あなたの現在の学科・性別をお答えください（1つずつに○）

学科	1. 生物科学科	2. 環境科学科	3. 食農科学科
性別	1. 男	2. 女	

2. 現在使っている教室に満足していますか（1つだけに○）

1. 不満	2. やや不満	3. どちらでもない	4. やや満足	5. 満足
-------	---------	------------	---------	-------

3. 教室の「冬の寒さ」についてご回答ください（1つだけに○）

1. 寒い	2. やや寒い	3. ちょうどよい	4. やや暑い	5. 暑い
-------	---------	-----------	---------	-------

4. 教室の「冬の寒さ」に不満がある場合、不満の原因を教えてください（あてはまるもの全てに○）

1. 教室全体が寒い	2. 足元が冷えこむ
3. 暖房をつけてから教室が暖まるまで時間がかかる	4. 暖房機器の周辺が暑い
5. 暖房機器の温度を調整できない	6. 窓から日射しが当たる
7. すきま風が寒い	8. その他( )

5. 教室の「夏の暑さ」についてご回答ください（1つだけに○）

1. 暑い	2. やや暑い	3. ちょうどよい	4. やや寒い	5. 寒い
-------	---------	-----------	---------	-------

6. 教室の「湿度」についてご回答ください（1つだけに○）

1. 湿った感じ	2. やや湿った感じ	3. ちょうどよい	4. やや乾いた感じ	5. 乾いた感じ
----------	------------	-----------	------------	----------

7. 教室の「空気環境（におい、ほこりっぽさ等）」に満足していますか（1つだけに○）

1. 不満	2. やや不満	3. どちらでもない	4. やや満足	5. 満足
-------	---------	------------	---------	-------

8. 教室の「音環境（声の聞こえやすさ、外からの騒音の少なさ等）」に満足していますか（1つだけに○）

1. 不満	2. やや不満	3. どちらでもない	4. やや満足	5. 満足
-------	---------	------------	---------	-------

9. 教室の「内装デザイン（壁や床の素材、色づかい等）」に満足していますか（1つだけに○）

1. 不満	2. やや不満	3. どちらでもない	4. やや満足	5. 満足
-------	---------	------------	---------	-------

10. 教室では学習に集中しやすいですか（1つだけに○）

1. しにくい	2. ややしにくい	3. どちらでもない	4. ややしやすい	5. しやすい
---------	-----------	------------	-----------	---------

11. 教室を、より学習に集中しやすくするためにどのような改善が必要だと思いますか(あてはまるもの全てに○)

1. 冬の寒さの改善	2. 夏の暑さの改善
3. 湿度の改善	4. 空気環境(におい、ほこりっぽさ等)の改善
5. 音環境(声の聞こえやすさ、騒音の少なさ等)の改善	6. 内装デザイン(壁や床の素材、色づかい等)の改善
7. その他( )	

12. 教室ではリラックスしやすいですか（1つだけに○）

1. しにくい	2. ややしにくい	3. どちらでもない	4. ややしやすい	5. しやすい
---------	-----------	------------	-----------	---------



## ① 現在使っている教室(木造校舎)についてお伺いします。

## 1.1 あなたの現在の学科・性別をお答えください (1つずつに○)

学科	1. 生物科学科	2. 環境科学科	3. 食農科学科
性別	1. 男	2. 女	

## 1.2 現在使っている教室に満足していますか (1つだけに○)

1. 不満	2. やや不満	3. どちらでもない	4. やや満足	5. 満足
-------	---------	------------	---------	-------

## 1.3 現在の教室の「冬の寒さ」についてご回答ください (1つだけに○)

1. 寒い	2. やや寒い	3. ちょうどよい	4. やや暑い	5. 暑い
-------	---------	-----------	---------	-------

## 1.4 現在の教室の「冬の寒さ」に不満がある場合、不満の原因を教えてください (あてはまるもの全てに○)

1. 教室全体が寒い	2. 足元が冷えこむ
3. 暖房をつけてから教室が暖まるまで時間がかかる	4. 暖房機器の周辺が暑い
5. 暖房機器の温度を調整できない	6. 窓から日射しが当たる
7. すきま風が寒い	8. その他( )

## 1.5 現在の教室の「夏の暑さ」についてご回答ください (1つだけに○)

1. 暑い	2. やや暑い	3. ちょうどよい	4. やや寒い	5. 寒い
-------	---------	-----------	---------	-------

## 1.6 現在の教室の「湿度」についてご回答ください (1つだけに○)

1. 湿った感じ	2. やや湿った感じ	3. ちょうどよい	4. やや乾いた感じ	5. 乾いた感じ
----------	------------	-----------	------------	----------

## 1.7 現在の教室の「空気環境(におい、ほこりっぽさ等)」に満足していますか (1つだけに○)

1. 不満	2. やや不満	3. どちらでもない	4. やや満足	5. 満足
-------	---------	------------	---------	-------

## 1.8 現在の教室の「音環境(声の聞こえやすさ、外からの騒音の少なさ等)」に満足していますか (1つだけに○)

1. 不満	2. やや不満	3. どちらでもない	4. やや満足	5. 満足
-------	---------	------------	---------	-------

## 1.9 現在の教室の「内装デザイン(壁や床の素材、色づかい等)」に満足していますか (1つだけに○)

1. 不満	2. やや不満	3. どちらでもない	4. やや満足	5. 満足
-------	---------	------------	---------	-------

## 1.10 現在の教室では、学習に集中しやすいですか (1つだけに○)

1. しにくい	2. ややしにくい	3. どちらでもない	4. ややしやすい	5. しやすい
---------	-----------	------------	-----------	---------

## 1.11 現在の教室を、より学習に集中しやすくするためにどのような改善が必要だと思いますか(あてはまるもの全てに○)

1. 冬の寒さの改善	2. 夏の暑さの改善
3. 湿度の改善	4. 空気環境(におい、ほこりっぽさ等)の改善
5. 音環境(声の聞こえやすさ、騒音の少なさ等)の改善	6. 内装デザイン(壁や床の素材、色づかい等)の改善
7. その他( )	

## 1.12 現在の教室では、リラックスしやすいですか (1つだけに○)

1. しにくい	2. ややしにくい	3. どちらでもない	4. ややしやすい	5. しやすい
---------	-----------	------------	-----------	---------





## ② 1年生時に使っていた教室（コンクリート校舎）についてお伺いします。

## 2.1 当時使っていた教室に満足していましたか（1つだけに○）

- |       |         |            |         |       |
|-------|---------|------------|---------|-------|
| 1. 不満 | 2. やや不満 | 3. どちらでもない | 4. やや満足 | 5. 満足 |
|-------|---------|------------|---------|-------|

## 2.2 当時使っていた教室の「冬の寒さ」についてご回答ください（1つだけに○）

- |       |         |           |         |       |
|-------|---------|-----------|---------|-------|
| 1. 寒い | 2. やや寒い | 3. ちょうどよい | 4. やや暑い | 5. 暑い |
|-------|---------|-----------|---------|-------|

## 2.3 当時使っていた教室の「冬の寒さ」に不満があった場合、不満の原因を教えてください（あてはまるもの全てに○）

- |                           |               |
|---------------------------|---------------|
| 1. 教室全体が寒い                | 2. 足元が冷えこむ    |
| 3. 暖房をつけてから教室が暖まるまで時間がかかる | 4. 暖房機器の周辺が暑い |
| 5. 暖房機器の温度を調整できない         | 6. 窓から日射しが当たる |
| 7. すきま風が寒い                | 8. その他( )     |

## 2.4 当時使っていた教室の「夏の暑さ」についてご回答ください（1つだけに○）

- |       |         |           |          |        |
|-------|---------|-----------|----------|--------|
| 1. 暑い | 2. やや暑い | 3. ちょうどよい | 4. やや涼しい | 5. 涼しい |
|-------|---------|-----------|----------|--------|

## 2.5 当時使っていた教室の「湿度」についてご回答ください（1つだけに○）

- |          |            |           |            |          |
|----------|------------|-----------|------------|----------|
| 1. 湿った感じ | 2. やや湿った感じ | 3. ちょうどよい | 4. やや乾いた感じ | 5. 乾いた感じ |
|----------|------------|-----------|------------|----------|

## 2.6 当時使っていた教室の「空気環境（におい、ほこりっぽさ等）」に満足していましたか（1つだけに○）

- |       |         |            |         |       |
|-------|---------|------------|---------|-------|
| 1. 不満 | 2. やや不満 | 3. どちらでもない | 4. やや満足 | 5. 満足 |
|-------|---------|------------|---------|-------|

## 2.7 当時使っていた教室の「音環境（声の聞こえやすさ、外からの騒音の少なさ等）」に満足していましたか（1つだけに○）

- |       |         |            |         |       |
|-------|---------|------------|---------|-------|
| 1. 不満 | 2. やや不満 | 3. どちらでもない | 4. やや満足 | 5. 満足 |
|-------|---------|------------|---------|-------|

## 2.8 当時使っていた教室の「内装デザイン（壁や床の素材、色づかい等）」に満足していましたか（1つだけに○）

- |       |         |            |         |       |
|-------|---------|------------|---------|-------|
| 1. 不満 | 2. やや不満 | 3. どちらでもない | 4. やや満足 | 5. 満足 |
|-------|---------|------------|---------|-------|

## 2.9 当時使っていた教室では、学習に集中しやすかったですか（1つだけに○）

- |         |           |            |           |         |
|---------|-----------|------------|-----------|---------|
| 1. しにくい | 2. ややしにくい | 3. どちらでもない | 4. ややしやすい | 5. しやすい |
|---------|-----------|------------|-----------|---------|

## 2.10 当時使っていた教室を、より学習に集中しやすくするためにどのような改善が必要だと思いますか（あてはまるもの全てに○）

- |                             |                            |
|-----------------------------|----------------------------|
| 1. 冬の寒さの改善                  | 2. 夏の暑さの改善                 |
| 3. 湿度の改善                    | 4. 空気環境（におい、ほこりっぽさ等）の改善    |
| 5. 音環境（声の聞こえやすさ、騒音の少なさ等）の改善 | 6. 内装デザイン（壁や床の素材、色づかい等）の改善 |
| 7. その他( )                   |                            |

## 2.11 当時使っていた教室では、リラックスしやすかったですか（1つだけに○）

- |         |           |            |           |         |
|---------|-----------|------------|-----------|---------|
| 1. しにくい | 2. ややしにくい | 3. どちらでもない | 4. ややしやすい | 5. しやすい |
|---------|-----------|------------|-----------|---------|

～ アンケートは以上です。ご協力ありがとうございました ～

## ■ 調査結果

木造教室と RC 造教室の主観調査結果を比較分析するにあたっては、同一の回答者が両方の教室を体験し、比較可能な状態で両教室についての回答を得ることが望ましい。1 年生及び 3 年生は木造あるいは RC 造のどちらか一方の教室しか体験していないが、2 年生は両教室を体験しているため、主に 2 年生に着目して比較分析した。

### ①教室に対する総合的な満足度

2 年生に着目すると、RC 造教室に「満足」あるいは「やや満足」と回答した割合は約 16%であるのに対し、木造教室は約 50%を占めており、木造教室の満足度が有意に約 3 倍高い傾向が見られた（有意水準 5%）。

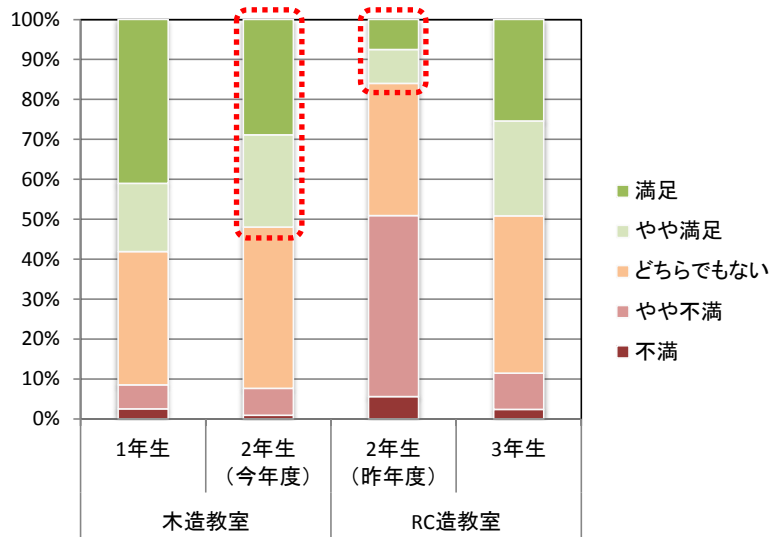


図 3-91 教室に対する総合的な満足度

### ②冬の室温の感じ方

RC造教室を「ちょうどよい」と回答した割合は約20%であるのに対し、木造教室は約59%を占めており、木造教室の方が約3倍有意に高い傾向が見られた（有意水準5%）。

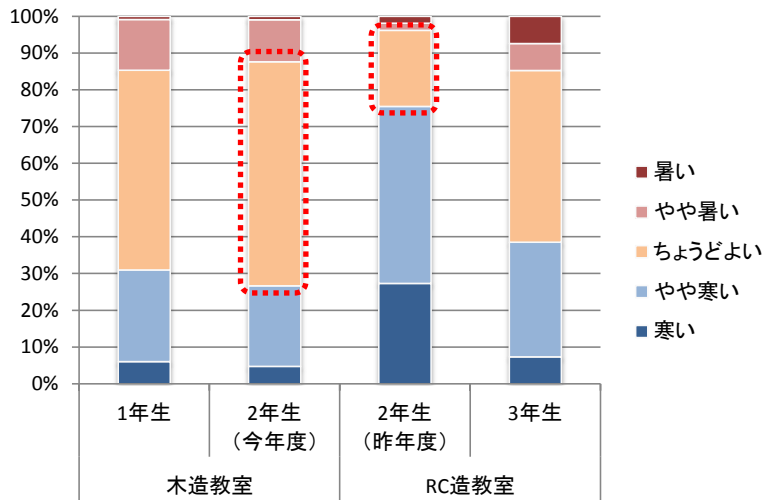


図 3-92 冬の室温の感じ方

### ③冬の室温への不満要因

昨年度のRC造教室では「教室全体が寒い」「足元が冷え込む」「暖房をつけてから教室が暖まるまで時間がかかる」と回答する割合が高い傾向が見られた。ただし、いずれも有意差は確認されなかった（有意水準5%）。

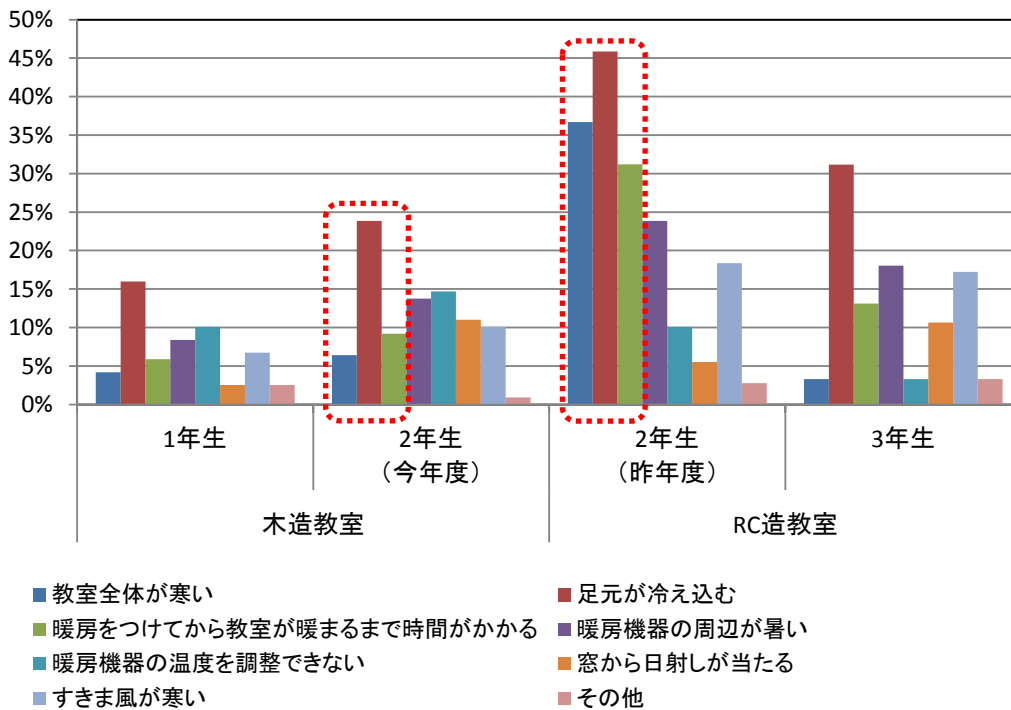


図 3-93 冬の室温への不満要因（複数回答）

#### ④夏の室温の感じ方

夏の室温の感じ方については、木造教室、RC造教室ともに大きな差は見られなかった。

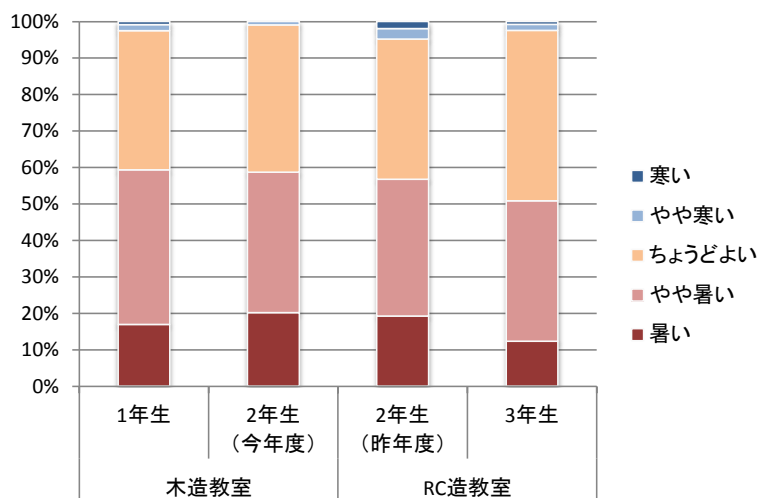


図 3-94 夏の室温の感じ方

#### ⑤湿度の感じ方

湿度の感じ方は、RC造教室を「ちょうどよい」と回答した割合は約61%であるのに対し、木造教室では約50%でやや低い傾向にあるが、有意差は確認されなかった(有意水準5%)。

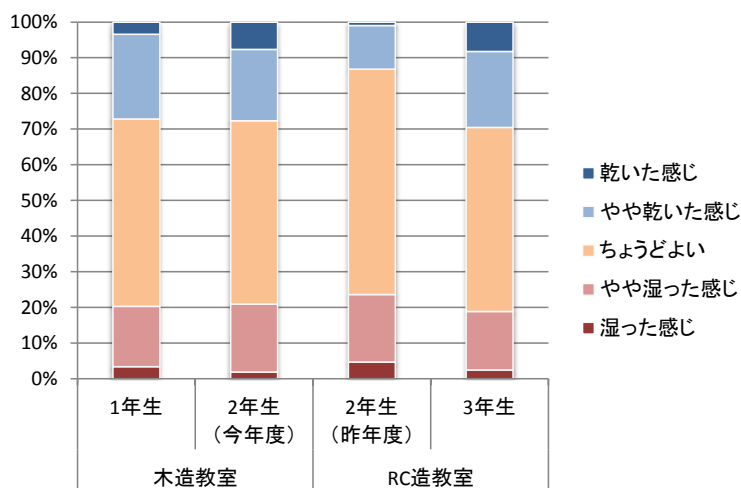


図 3-95 湿度の感じ方

⑥空気環境（におい、ほこりっぽさ等）への満足度

空気環境への満足度は、RC造教室に「満足」あるいは「やや満足」と回答した割合は約10%であるのに対し、木造教室は約28%を占めている。木造教室の満足度が約3倍高い傾向が見られたが、有意差はなかった（有意水準5%）。

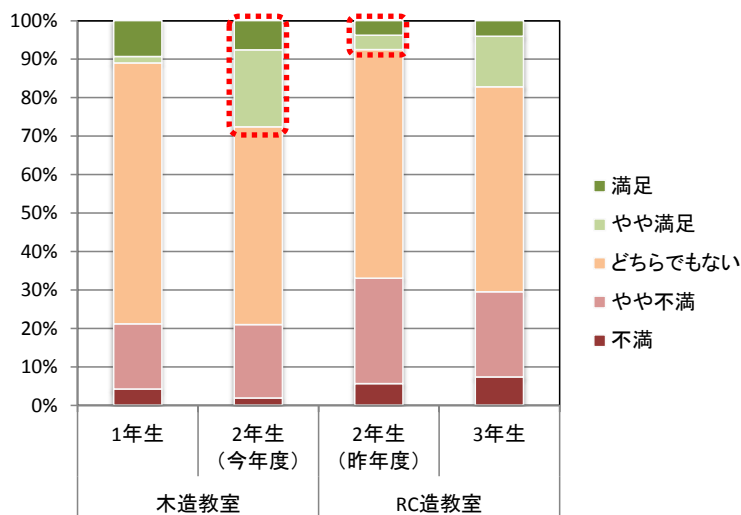


図 3-96 空気環境への満足度

⑦音環境への満足度

音環境への満足度については、木造教室、RC造教室ともに大きな差は見られなかった。

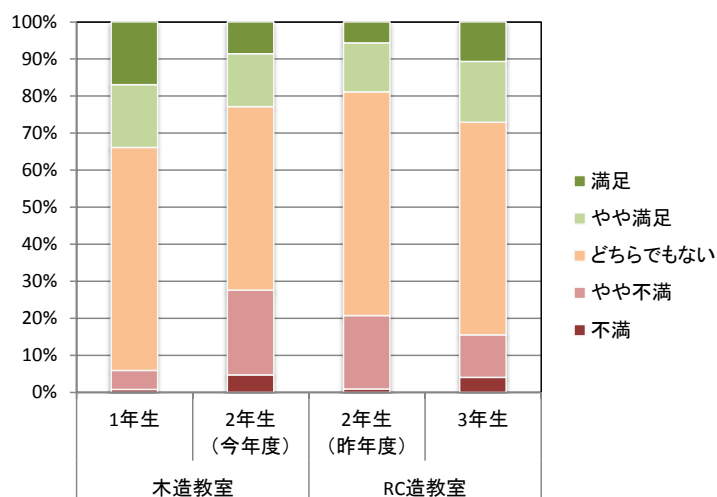


図 3-97 音環境への満足度

### ⑧内装デザインへの満足度

RC造教室に「満足」あるいは「やや満足」と回答した割合は約14%であるのに対し、木造教室は約53%を占めており、木造教室の満足度が有意に約4倍高い傾向が見られた(有意水準5%)。

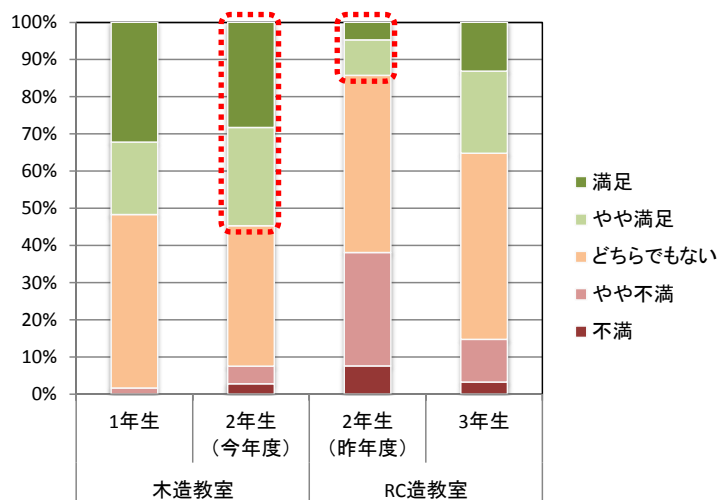


図 3-98 内装デザインへの満足度

### ⑨集中のしやすさについて

集中のしやすさについて、RC造教室で「しやすい」あるいは「ややしやすい」と回答した割合は約18%であるのに対し、木造教室は約41%を占めている。木造教室の満足度が約2倍高い傾向が見られたが、有意差はなかった(有意水準5%)。

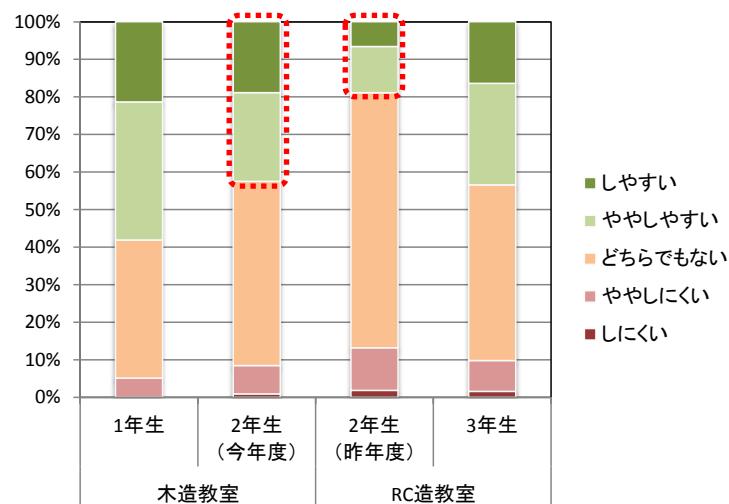


図 3-99 学習への集中しやすさ

⑩より学習に集中しやすくするために改善してほしい点

RC造教室の「冬の寒さの改善」や「内装デザインの改善」への要望割合が現在の木造教室よりも高い傾向が見られたが、いずれも有意差はなかった。

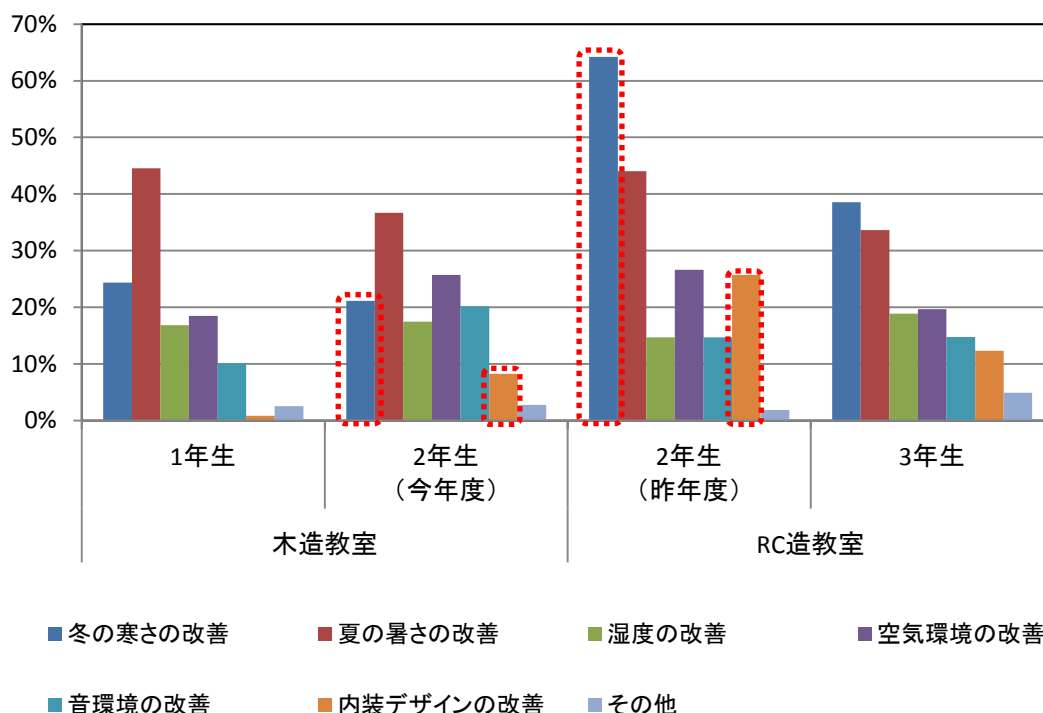


図 3-100 より学習に集中しやすくするために改善してほしい点 (複数回答)

⑪リラクスのしやすさについて

リラクスのしやすさについて、RC造教室で「しやすい」あるいは「ややしやすい」と回答した割合は約 20%であるのに対し、木造教室は約 40%を占めている。木造教室の満足度が約 2 倍高い傾向が見られたが、有意差はなかった (有意水準 5%)。

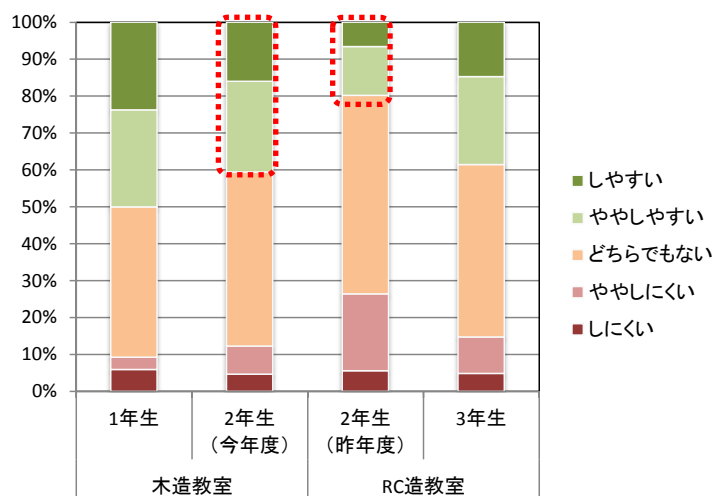


図 3-101 リラクスのしやすさ

■ アンケートによる主観評価まとめ

木造教室、RC 造教室の両方を体験している 2 年生に着目することにより、木造教室と RC 造教室への主観的評価の違いが明らかになった。

各設問を下表の 3 つのグループに整理した。

表 3-74 アンケートによる主観評価のまとめ表

	木造教室が高評価 (※) となった設問 [A]		木造教室と RC 造教室 の差がなかった設問 [B]
	統計的に有意 [A-1]	統計的に有意でない [A-2]	
設問	①教室に対する総合的な満足度 ②冬の室温の感じ方 ⑧内装デザインへの満足度	③冬の室温への不満要因 ・教室全体が寒い ・足元が冷え込む ・暖房をつけてから教室が暖まるまで時間がかかる ⑥空気環境（におい、ほこり、つばき等）への満足度 ⑨集中のしやすさについて ⑩より学習に集中しやすくするために改善してほしい点 ・冬の寒さの改善 ・内装デザインの改善 ⑪リラックスのしやすさについて	④夏の室温の感じ方 ⑤湿度の感じ方 ⑦音環境への満足度

(※) ここで、「木造教室が高評価」と判断した基準は以下の 2 つである。

- (1) 設問①⑥⑦⑧で「満足」「やや満足している」、設問⑨⑩で「しやすい」「ややしやすい」、設問②④⑤で「ちょうどよい」、と回答した割合について、木造教室と RC 造教室でそれぞれ比較したときに、木造教室の方が RC 造教室よりも 2 倍以上高くなっている
- (2) 設問③⑩の各選択肢について回答した割合を、木造教室と RC 造教室でそれぞれ比較したときに、木造教室における回答割合が RC 造教室のそれよりも 1/2 以下となっている

[A-1] の 3 つの項目については、統計的に有意であることも踏まえ、RC 造教室との比較における木造教室の優位性を訴求する際の有効なポイントとなることを示している。

[A-2] の 5 つの項目については、統計的に有意でなかったが、更なる調査の展開により木造教室の優位性が有意に明らかになる可能性があると考えられる。特に、「③冬の室温への不満要因」として木造教室は「教室全体が寒い」や「足元が冷え込む」、「暖房をつけてから教室が暖まるまで時間がかかる」等の訴えが比較的低い傾向であることや、「⑩より学習に集中しやすくするために改善してほしい点」として木造教室は「冬の寒さの改善」への要望割合が比較的低い傾向にある点については、不満要因や改善要望が木造教室で低い傾



向は、前述の集中測定結果等とも一致しており、更なる調査の展開により木造教室の優位性が有意に明らかになる可能性がある。

〔B〕の3項目についても、④と⑤については本調査が冬期であったことから回答に差違が見られなかった可能性もあるなど、木造教室の優位性の有無を明らかにするために調査の工夫が必要であると考えられる。

## (2) 木造庁舎における検討

### 1) 測定対象施設

平成 27 年度は、学校校舎以外の施設（庁舎、オフィスビル等）を対象とし、構造あるいは内装を木質化することにより、平成 26 年度に高校校舎を対象に検証した暖房の省エネ省 CO2 効果、快適性の改善効果等が得られるかを検討した。

木造施設と非木造施設を可能な限り同一条件で測定可能なオフィスとして、静岡県浜松市天竜区役所を測定対象とした。同庁舎は、旧庁舎（RC 造）からの建て替え工事により平成 24 年 1 月に木造庁舎が竣工した。

一方、比較対象の非木造施設については、隣接する敷地に立地する天竜区役所南館（RC 造、2 階建）を測定対象とする。



図 3-102 浜松市天竜区役所（本館） 外観

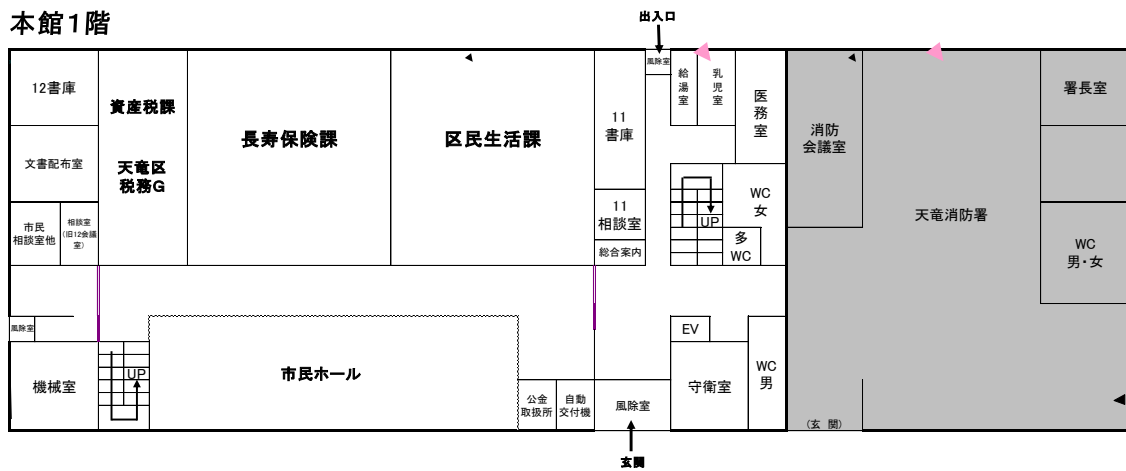
#### ◆建築概要（木造庁舎）◆

- ・木造軸組工法・一部 RC 造、地上 2 階、延床面積約 4,000 m<sup>2</sup>
- ・木材利用量 142 m<sup>3</sup>（スギ、ひのき）
- ・平成 24 年 1 月竣工



図 3-103 浜松市天竜区役所（本館） 内観

本館1階



本館2階

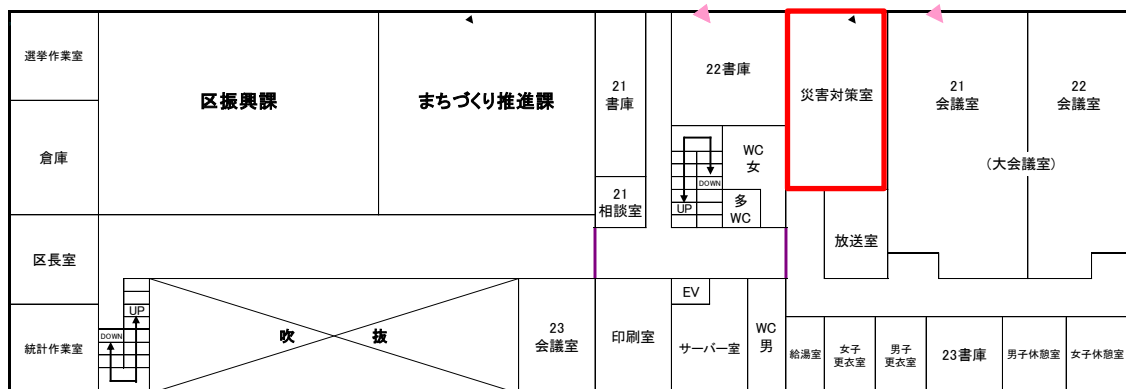


図 3-104 本館（木造）の平面図（赤枠が測定対象部屋）



図 3-105 浜松市天竜区役所（南館） 内外観

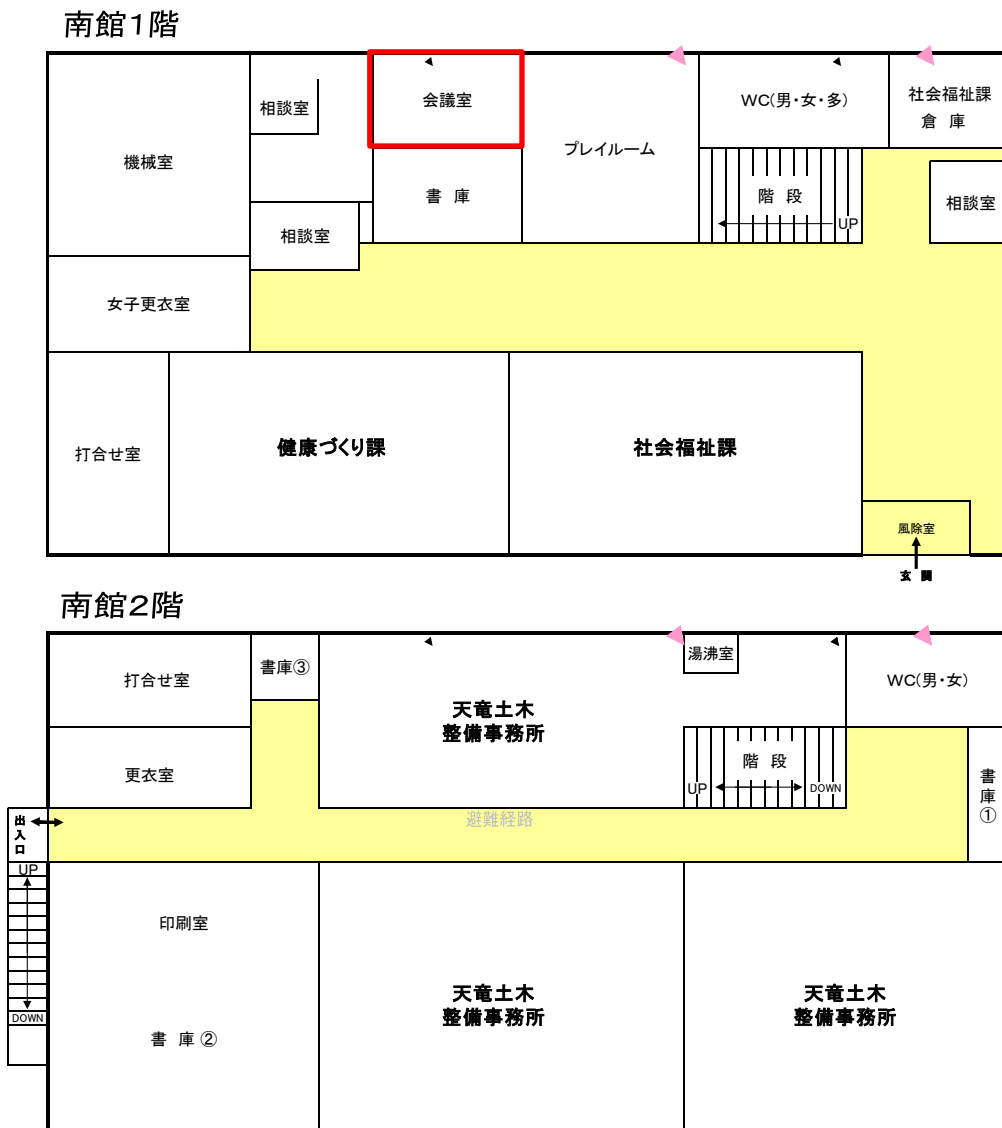


表 3-75 木造庁舎・非木造庁舎の測定対象部屋の比較

	本館（木造庁舎）	南館（非木造庁舎）
内観		
位置	本館 2 階（非角部屋）	南館 1 階（非角部屋）
主方位	北	北
構造	木造軸組工法・一部 RC 造	RC 造
内装	壁：腰壁まで杉板貼、 腰壁上は石膏ボード+壁紙 床：カーペット 天井：石膏ボード	壁：モルタル壁+壁紙 床：ピータイル 天井：石膏ボード
室面積	33.3 m <sup>2</sup>	19.1 m <sup>2</sup>
方角	北（開口部向き）	北（開口部向き）
開口部	単窓（ペアガラス、中空層 6mm）	単窓（ペアガラス、中空層 6mm）
暖房	ビルマルチ及びペレットストーブ （吹出口：天井埋め込みカセット型）	パッケージエアコン

## 2) 測定計画

### a. 木造施設の室内環境と省エネ省 CO<sub>2</sub>に関する仮説

木造施設は、非木造施設と比べた場合に比べて熱容量が小さい等の特性があり、室内環境やエネルギー消費量等に下記の影響を及ぼすことが想定されるため、天竜区役所での室内環境測定を通じて検証していく。

#### ➤ 暖房立ち上がり時の温度上昇性状

木造施設は、一般に、RC 造の施設と比較して熱容量が小さいため、外部気温変化や暖冷房への応答が早い

⇒冬の朝に暖まりやすいため「暖房立ち上げ時間」が短縮され、省エネ省 CO<sub>2</sub> 効果が見込まれる。

※ただし、両庁舎の違いは、構造・内装の木質化という点以外にも、室床面積、開口部大きさ、暖房種類等が異なっており、室温測定時には、これら違いを可能な限り補正するとともに、測定結果の解釈において留意する。

#### ➤ 室温分布性状

木造施設は、一般に、RC 造の施設と比較して熱容量が小さいため、室温分布の均一性が高い

#### ➤ 職員の主観的評価

木造施設は、上記の室温特性等により、職員の主観的快適性や作業効率等への好影響がある。

## b. 測定項目

測定方法として、(ア) 定点測定（コンパクトな計測器を室内に常時設置）、(イ) 集中測定（週末等の職員不在の期間を利用し、温度等を制御して測定）、(ウ) アンケートによる主観調査（職員にアンケート票配布）の3タイプを実施する。各測定項目を以下に示す。

ア) 定点測定（測定期間：平成28年1月12日～2月29日）

- 室内の温度・湿度：小型温湿度計測器を常時設置し、5分間隔で計測
- 輻射温度（体感温度）：小型グローブ温度計を常時設置し5分間隔で計測
- 外気温：小型温湿度計測器を常時設置し、5分間隔で計測

【木造庁舎の会議室】と【RC造庁舎の会議室】の測定結果を主な比較対象とし、データ取得期間内において暖房運用時間帯が出来る限り一致する日を抽出し比較する。

## ■ 計測器の設置箇所

計測器の設置箇所を以下に示す。



図 3-107 計測器の設置箇所（木造庁舎の会議室）

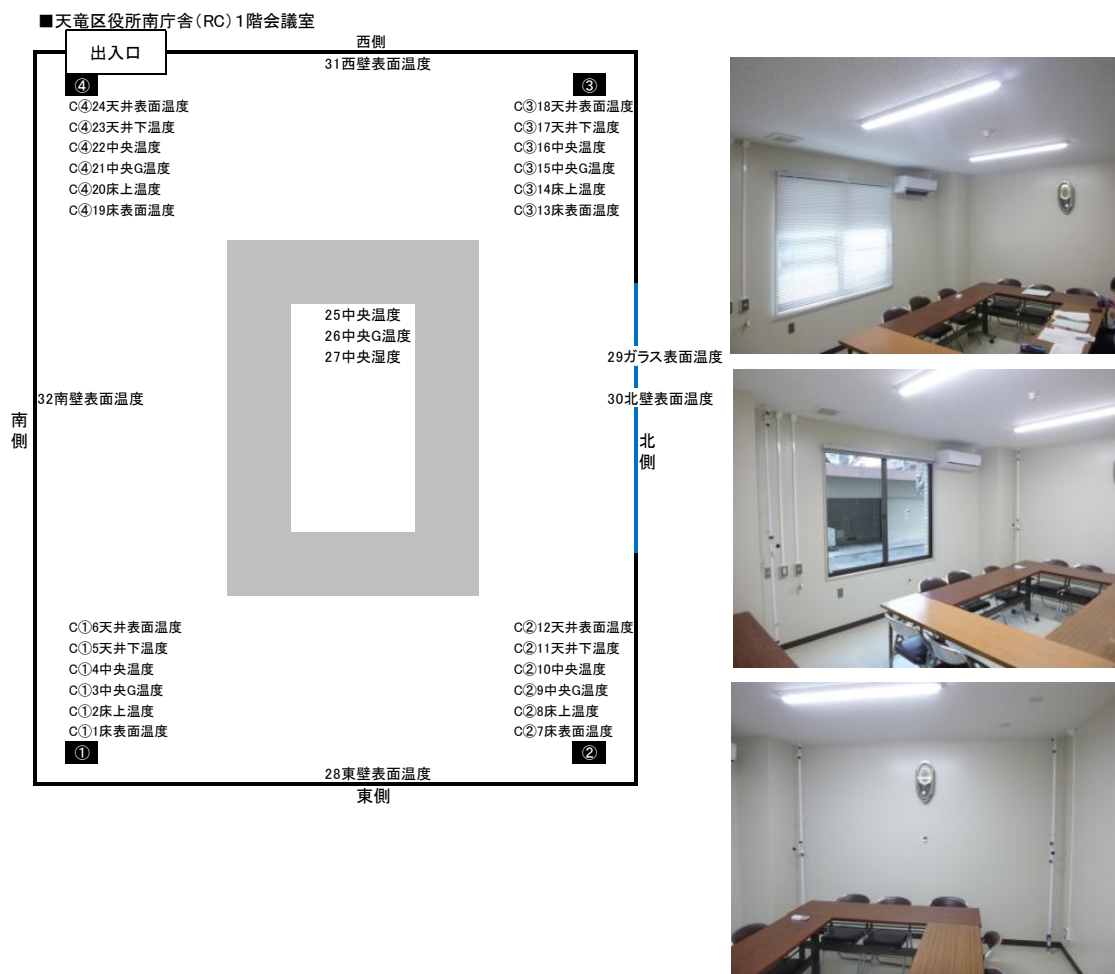


図 3-108 計測器の設置箇所 (RC 造庁舎の会議室)

## ■ 測定結果

木造庁舎と RC 造庁舎では、暖房方式がそれぞれ中央制御式エアコンとパッケージエアコンであり、暖房出力や吹き出し口の風速、運用条件（温度設定や利用時間帯）等が異なるため、単純に「暖房立ち上がり時の温度上昇性状」等を比較することはできない。「暖房立ち上がり時の温度上昇性状」の分析は、後述する集中測定で分析をおこなう。

一方、「上下温度分布」については、暖房開始から時間が経過し概ね定常状態となった時間帯を抽出することにより、木造と RC 造の違いを分析することが可能と考えられる。そこで、定点測定を実施した期間の中から、可能な限り両庁舎で同じタイミングで暖房を開始し、暖房開始から 1 時間後に中央温度（高さ 120cm 時点の平均温度）が木造と RC 造で概ね一致する時間帯を抽出し、それぞれの庁舎の上下温度分布を比較分析した。

上記の条件に合致する時間帯として、1 月 13 日午後の時間帯を抽出した。該時間帯における温度の推移を次頁に示す。木造庁舎の会議室は、暖房制御方式の都合、温度推移が安定しないため、上下温度分布を分析するに当たっては、暖房開始 1 時間後から 1 時間半後までの 30 分間の平均値を用いることとした (RC 造庁舎も同様)。



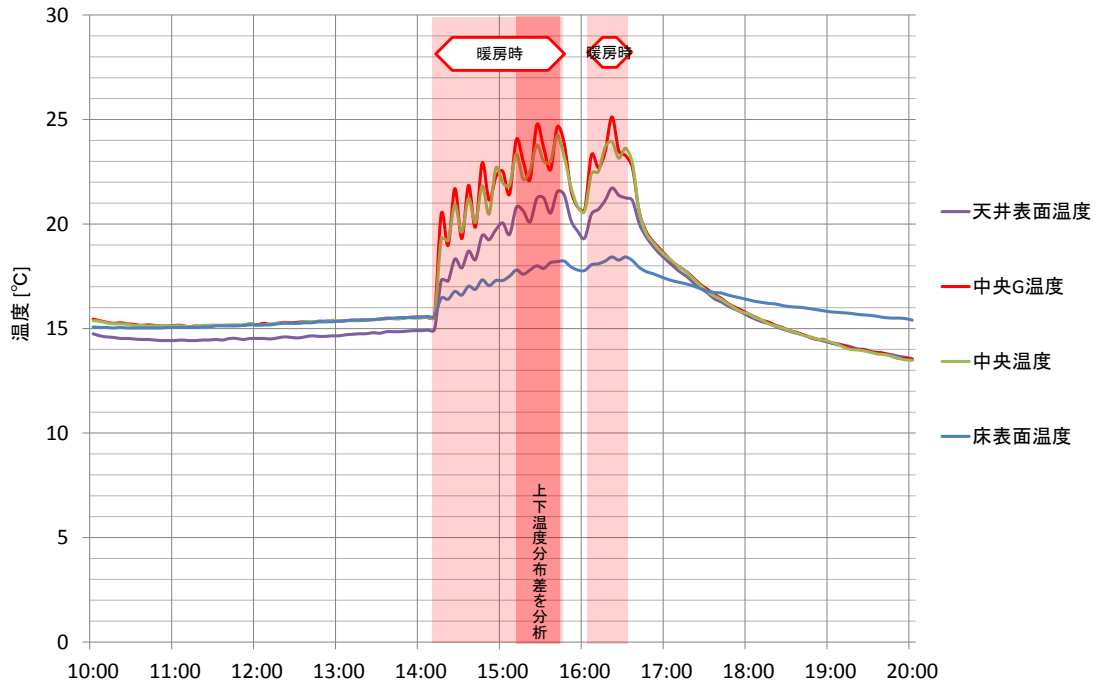


図 3-109 木造庁舎の会議室の温度推移（平成 28 年 1 月 13 日）

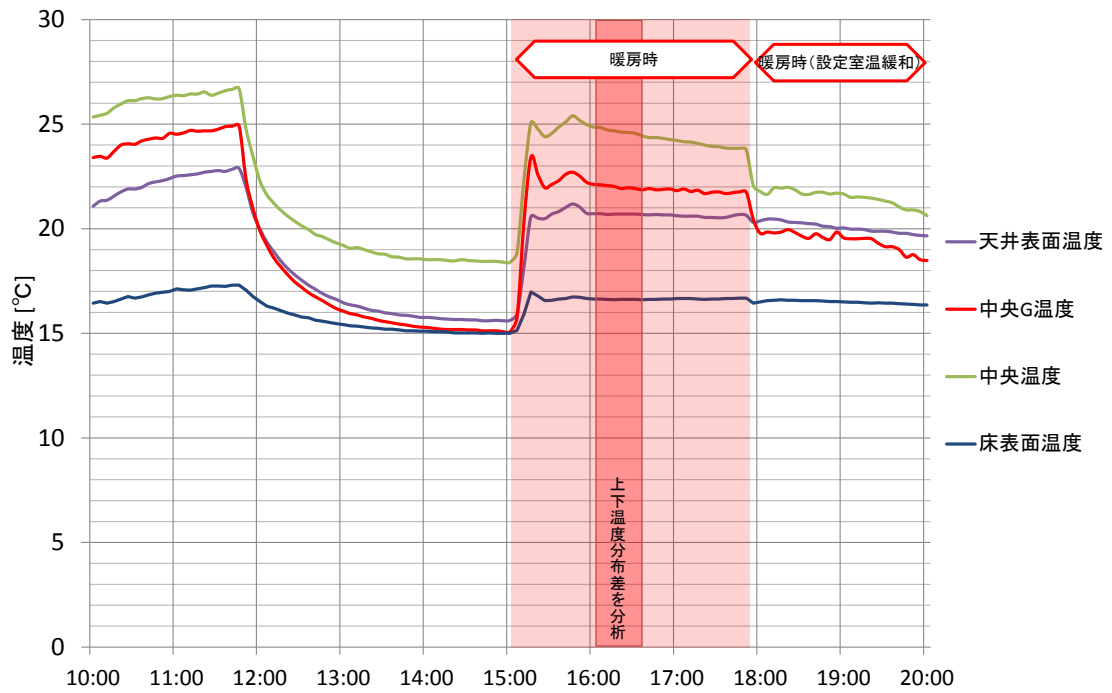


図 3-110 RC 造庁舎の会議室の温度推移（平成 28 年 1 月 13 日）

暖房開始1時間後から1時間半後までの30分間（前頁の濃い赤ハッチ部）における、木造庁舎とRC造庁舎の会議室の上下温度分布を下記に示す。

木造庁舎の会議室は、RC造庁舎の会議室と比べて床表面温度が2℃程度高い傾向が見られた。これは、木造庁舎の床（コンクリートスラブ+フローリング（パーティクルボード）+カーペット）が、RC造庁舎の床（コンクリートスラブ+ビーターイル）よりも蓄熱量が低く、暖房により暖まりやすいため、足元の寒さを緩和していることが考えられる。

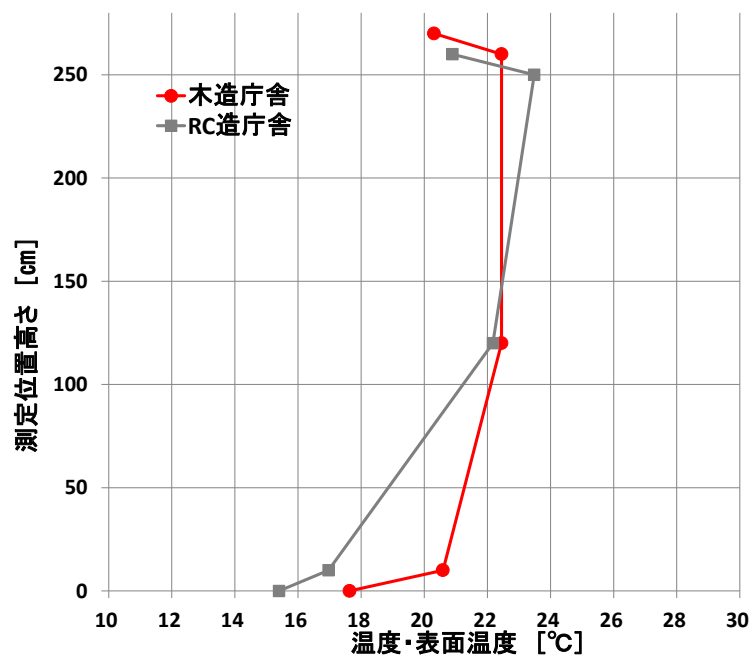


図 3-111 上下温度分布（平成28年1月13日、暖房開始1時間経過後の30分間平均値）

イ) 集中測定 (平成 28 年 1 月 23 日 (土) に実施)

会議室の日常利用による外乱・バイアス (暖房の非定期利用、計測器設置箇所の制約、職員による内部発熱等) を排除し、定点測定よりも測定条件を可能な限り制御した状態で、特に暖房時の立ち上がり温度、会議室内の温度分布 (平面・上下) データを取得し、木造庁舎と RC 造庁舎の熱的特性の差異を分析した。

- 室温立ち上がり試験：ヒーターを持ち込み、温度や発熱量を制御した環境で暖房立ち上がりまでの温度性状・所要時間を測定し、木造・RC 造による差を比較
- 暖房方法は発熱量を制御するために電気ヒーターを利用  
⇒ 室面積、断熱性能等の条件の違いを補正するため、各会議室の熱負荷に比例した発熱量 (木造：3,300W、非木造 1,500W) を設定した。
- 表面温度：壁表面・床表面・天井表面温度を 1 分間隔で計測
- 輻射温度 (体感温度)：グローブ温度計により 1 分間隔で計測
  - ・照明は消灯したままとする
  - ・設置済みの換気扇 (熱交換換気) は停止し、室内空気の換気・攪拌等は実施しない
- 当日の天候：終日曇であった

測定対象室は木造庁舎と非木造庁舎において同条件 (同時刻、同一の床面積当たりヒーター発熱量) で暖房を実施し、会議室内に等間隔に設置した 1 分毎温度データを基に両会議室の暖房時における立ち上がり状況及び温度性状を比較検証した。

(参考) 電気ヒーターの発熱量 (木造 : 3,300W、RC造 : 1,500W) の算出根拠

室内の各部位 (天井、外壁、床等) の面積および熱還流率、及び隣室との温度差等を考慮した上で熱損失量 (室内外で 1°C の温度差がある際に流出する熱量。W/K) を算出し、室内外の温度差を 15°C に保つために必要となる発熱量 (定常負荷) を算出した。定常負荷に、より早く室内を暖めるために一定の定数 (今回は√2) を乗じ、電気ヒーターの発熱量を設定した。

表 3-76 各庁舎の発熱量計算にあたっての各種前提条件

■木造庁舎

隣室との温度差係数	0.44	隣室温度	15
		暖房温度	22
		外気温	6
		隣室-外気	9
		暖房-外気	16
			0.44

対象室の熱損失係数

部位	断熱仕様	寸法			部位面積 A[m <sup>2</sup> ]	熱貫流率 U[W/m <sup>2</sup> K]	温度差係数 H(-)	熱損失	
		L [m]	W [m]	h [m]				A·K·H [W/K]	Q [W/m <sup>2</sup> K]
屋根		6.3	5.4		34.0m <sup>2</sup>	0.996	1.00	33.88	0.996
天井									
外壁					0.0m <sup>2</sup>	0.354	1.00	0.00	0.000
間仕切壁(南)塗壁			4.4	1.5	6.6m <sup>2</sup>	1.957	0.44	5.65	0.166
間仕切壁(南)腰壁			4.4	1.2	5.3m <sup>2</sup>	1.613	0.44	3.73	0.109
間仕切壁(東)塗壁		6.3		1.5	9.5m <sup>2</sup>	1.957	0.44	8.09	0.238
間仕切壁(東)腰壁		6.3		1.2	7.6m <sup>2</sup>	1.613	0.44	5.33	0.157
間仕切壁(西)塗壁		6.3		1.5	9.5m <sup>2</sup>	1.957	0.44	8.09	0.238
間仕切壁(西)腰壁		6.3		1.2	7.6m <sup>2</sup>	1.613	0.44	5.33	0.157
出入口(南)			1.0	2.7	2.7m <sup>2</sup>	4.0	0.44	4.73	0.139
開口部(北)			5.4	2.7	14.6m <sup>2</sup>	4.65	1.00	67.80	1.993
床		6.3	5.4		34.0m <sup>2</sup>	1.279	0.44	12.81	0.377
換気		6.3	5.4	2.7	91.9m <sup>2</sup>	0.35	0回	0.00	0.000
相当延べ床面積		6.3	5.4		34.0m <sup>2</sup>				
室全体					257.1m <sup>2</sup>			155.4	4.57

温度差	15
定常負荷	2332
定常負荷×√2	3297

3300 W

■RC造庁舎

隣室との温度差係数	0.25	隣室温度	18
		暖房温度	22
		外気温	6
		隣室-外気	12
		暖房-外気	16
			0.25

対象室の熱損失係数

部位	断熱仕様	寸法			部位面積 A[m <sup>2</sup> ]	熱貫流率 U[W/m <sup>2</sup> K]	温度差係数 H(-)	熱損失	
		L [m]	W [m]	h [m]				A·K·H [W/K]	Q [W/m <sup>2</sup> K]
天井		4.9	3.9		19.1m <sup>2</sup>	0.898	1.00	17.11	0.898
外壁(北)		4.9		2.56	9.5m <sup>2</sup>	1.719	1.00	16.36	0.859
開口部(北)			1.77	1.65	2.9m <sup>2</sup>	4.65	1.00	13.58	0.713
間仕切壁(南)			4.9	2.56	12.4m <sup>2</sup>	1.222	0.25	3.80	0.199
間仕切壁(東)		3.9		2.56	10.0m <sup>2</sup>	1.222	0.25	3.06	0.161
間仕切壁(西)		3.9		2.56	8.0m <sup>2</sup>	1.222	0.25	2.45	0.129
出入口(西)			1.0	2	2.0m <sup>2</sup>	6.5	0.25	3.25	0.171

床		4.9	3.9		19.1m <sup>2</sup>	0.808	0.50	12.81	0.672
換気		4.9	3.9	2.56	48.8m <sup>2</sup>	0.35	0回	0.00	0.000
相当延べ床面積		4.9	3.9		19.1m <sup>2</sup>				
室全体					150.9m <sup>2</sup>			72.4	3.80

温度差	15
定常負荷	1087
定常負荷×√2	1536

1500 W

## ■ 計測機器の設置箇所

計測機器の設置箇所を以下に示す。各会議室に計 9 箇所の突っ張り棒を設置し、それぞれに高さ 0.0m (床表面)、0.1m、1.0m、1.8m、3.0m (天井) 地点にそれぞれ温湿度計と、高さ 1.0m 地点にグローブ温度計を設置し計測を行った。

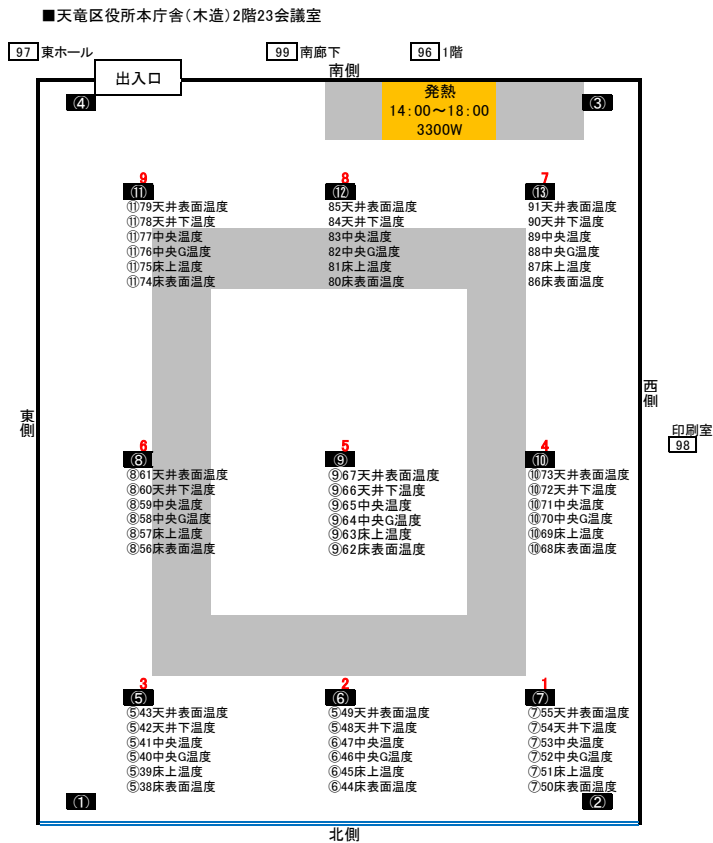


図 3-112 計測器の設置箇所 (木造庁舎の会議室)

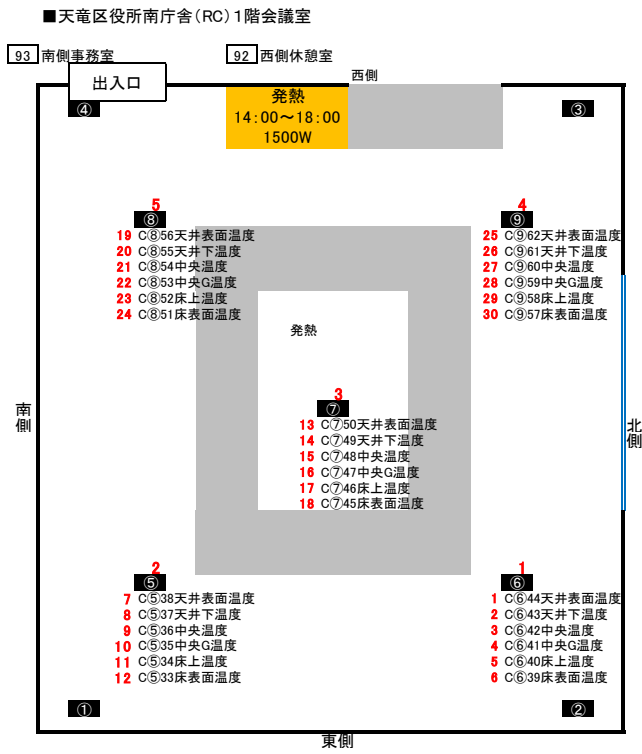


図 3-113 計測器の設置箇所 (RC 造庁舎の会議室)

■ 測定結果

**暖房時立ち上がり時の温度上昇性状**

木造、RC 造庁舎の両会議室ともに 14 時に同時に暖房のスイッチを入れ、3 時間暖房を継続した後、17 時に同時に暖房のスイッチを切った。暖房開始後の各庁舎の会議室における温度（各測定点の平均値）の推移を以下に示す。

暖房開始時の各室の温度は、中央グローブ（G）温度が木造庁舎で 13.0℃、RC 造庁舎で 13.8℃であり、0.8℃程度 RC 造庁舎が高い状態にあった。同じく、全平均値（各高さの温度の平均値）は、木造庁舎で 13.2℃、RC 造庁舎で 14.0℃であり、0.8℃程度 RC 造庁舎が高い状態にあった。この開始時点での両庁舎の温度差は、1℃未満であるため、暖房立ち上がり性状を分析する上で大きな影響がないと仮定することとした。

暖房開始後の各室の暖房立ち上がり性状として、暖房開始時と暖房終了時の温度の差分である上昇温度に着目して分析すると、中央グローブ温度の上昇温度は、木造庁舎で 8.0℃、RC 造庁舎で 6.2℃で、木造庁舎のほうが上昇温度が高い傾向が得られた。

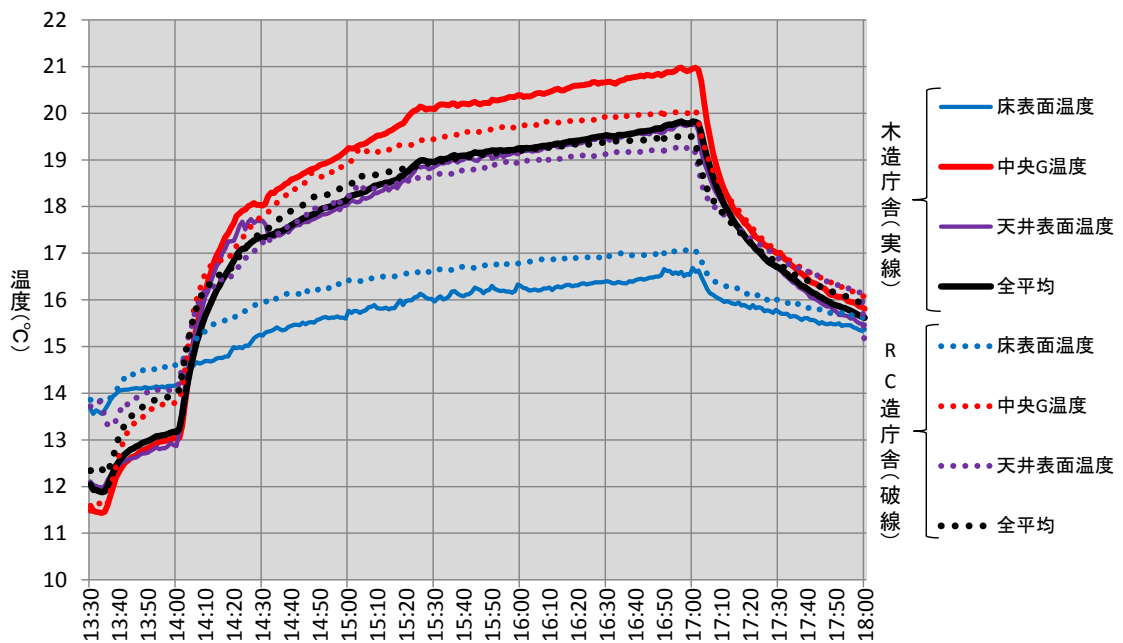


図 3-114 暖房試験時の室温立ち上がり状況

表 3-77 暖房開始時及び終了時の各温度

木造	床表面温度	中央 G 温度	中央温度	天井表面温度	全平均
暖房開始時 (14 時)	14.2	13.0	13.0	12.9	13.2
暖房終了時 (17 時)	16.7	21.0	20.8	19.7	19.8
上昇温度	2.5	8.0	7.8	6.8	6.6

RC 造	床表面温度	中央 G 温度	中央温度	天井表面温度	全平均
暖房開始時 (14 時)	14.6	13.8	13.7	14.1	14.0
暖房終了時 (17 時)	17.0	20.0	20.0	19.3	19.5
上昇温度	2.4	6.2	6.3	5.2	5.5

一方、床表面温度の上昇温度は、木造庁舎で2.5℃、RC造庁舎で2.4℃であり、ほぼ変わらなかった。定点測定では、暖房時における木造庁舎の会議室の床表面温度はRC造庁舎の会議室よりも高い傾向が確認されたが、今回の集中測定では同様の傾向が見られなかった。この原因として、集中測定で用いたヒーターは高さ60cm程度の高さの位置に設置し、さらに攪拌用のサーキュレータを水平方向に向けて設置したため、ヒーターの温風が床面に行き渡らなかった可能性が考えられる。

天井表面温度の上昇温度については、木造庁舎が6.8℃、RC造庁舎が5.2℃であり、木造庁舎のほうがより暖まりやすい傾向が得られた。これは、木造庁舎とRC造庁舎の天井は石膏ボードであるが、木造庁舎のほうがより高い断熱性能の石膏ボードを用いていることが主な要因と考えられる。(天井の断熱性能の違いは、発熱量の算定に加味している)

暖房開始後の各庁舎における上昇室温の推移を以下に示す。暖房開始後は、木造庁舎の方がRC造庁舎よりも温度上昇が速い傾向が見られ、全平均の温度が5℃上昇(13~14℃→18~19℃)に要した時間は、木造会議室が60分、RC造会議室が93分となり、暖房立ち上がり時間の短縮率は35.5%という結果が得られた。

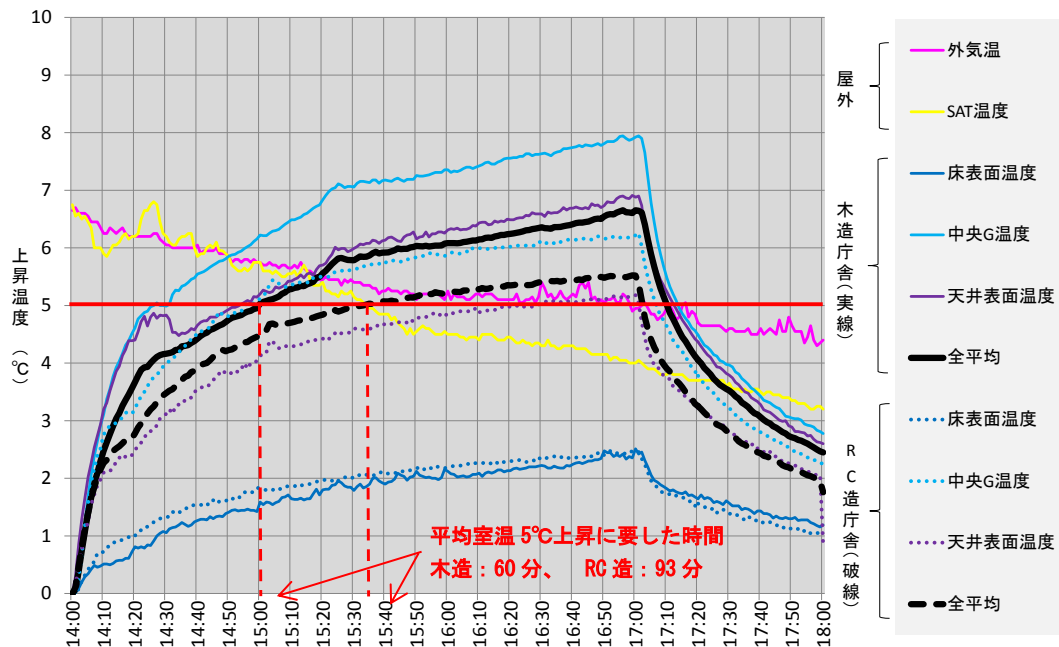


図 3-115 暖房試験時の室温立ち上がり状況 (上昇温度)

表 3-78 測定結果の概要

	木造会議室	RC造会議室
ヒーター出力	3300W	1500W
床面積	34.0 m <sup>2</sup>	19.1 m <sup>2</sup>
平均室温 5℃上昇時間	60分	93分
木造の暖房立ち上がり時間短縮率	35.5%	
平均室温 5.5℃上昇時間	80分	171分
木造の暖房立ち上がり時間短縮率	53.2%	



## ■ 測定結果まとめ

定点測定結果より、木造庁舎の会議室においては RC 造庁舎よりも暖房時の上下温度分布差が少なく、特に床表面温度が高いことから、足元の寒さが緩和される傾向にあることが示された。ただし、上下温度分布差は、木造、RC 造という構造の違い以外にも、空調機の送風口の位置や性能の違い等が影響を及ぼしている可能性に留意する必要がある。

また、暖房条件の違い等による影響を排除するため、電気ヒーターを設置し、室の熱負荷に応じた発熱量を与え、測定条件を可能な限り統一した集中測定を実施したところ、暖房開始時の立ち上がりにおいて木造庁舎の会議室の方が早いという傾向が確認され、暖房立ち上がり時間の短縮率は 35.5% という結果が得られた。

ただし、今回の測定対象となった木造庁舎および RC 造庁舎の会議室は、構造材や内装材の違い以外にも、室面積や開口部の仕様等が異なっており、より精緻な検証のためには、条件が室面積や開口部の仕様等より近い施設での測定が望ましい。

ウ) アンケートによる室内環境の主観評価 (2月8～15日に実施)

室内環境や内装木質化等に対する職員の満足度や、作業効率への影響等を評価するため、国土交通省／知的生産性研究委員会が開発した SAP(Subjective Assessment of Productivity) の質問項目を参考にした調査票を作成し、職員へのアンケート調査を実施した。

分析にあたっては、有効回答 143 名のうち、木造庁舎と非木造庁舎の両方での執務経験を有する職員 34 名に着目し、それぞれの庁舎に対する回答結果について比較分析をおこなった。

表 3-79 職員の勤務先庁舎と配布した調査票

経験している庁舎	回答者数	調査票
木造庁舎、RC 造庁舎の両方を経験している職員	34 名	木造・RC 造庁舎の両方を体験しているため、それぞれの庁舎における室内環境について調査
木造庁舎のみを経験している職員	50 名	現在の木造庁舎の室内環境について質問
RC 造庁舎のみを経験している職員	59 名	現在の RC 造庁舎の室内環境について質問

※太字が今回の主な分析対象

① **本館（木造庁舎）で働いている方、あるいは過去に本館で働いていた方にお伺いします。**

（本館での勤務経験のない方は、設問 1.1 にご回答いただいた後に裏面にお進みください）



**1.1 あなたの現在の性別・年齢・所属部署をお答えください（1つずつに○）**

性別	1. 男	2. 女		
年齢	1. 20歳未満	2. 20～44歳	3. 45～64歳	4. 65歳以上
所属部署	1. 区振興課	2. 区民生活課	3. まちづくり推進課	4. 社会福祉課
	5. 長寿保険課	6. 健康づくり課	7. その他( )	

**1.2 現在、本館で働いていますか。あるいは過去に本館働いていた場合は、いつ頃ですか（1つだけに○）**

1. 現在働いている	2. 1年前働いていた	3. 2年前働いていた	4. 3年以上前に働いていた
------------	-------------	-------------	----------------

**1.3 本館の執務環境に満足していますか（1つだけに○）**

1. 不満	2. やや不満	3. どちらでもない	4. やや満足	5. 満足
-------	---------	------------	---------	-------

**1.4 本館の「冬の室温」についてご回答ください（1つだけに○）**

1. 寒い	2. やや寒い	3. ちょうどよい	4. やや暑い	5. 暑い
-------	---------	-----------	---------	-------

**1.5 本館の「冬の室温」に不満がある場合、不満の原因を教えてください（あてはまるもの全てに○）**

1. 執務室全体が寒い	2. 足元が冷えこむ
3. 暖房をつけてから執務室が暖まるまで時間がかかる	4. 暖房機器の周辺が暑い
5. 暖房機器の温度を調整できない	6. 窓から日射しが当たる
7. すきま風が寒い	8. その他( )

**1.6 本館の「夏の室温」についてご回答ください（1つだけに○）**

1. 暑い	2. やや暑い	3. ちょうどよい	4. やや寒い	5. 寒い
-------	---------	-----------	---------	-------

**1.7 本館の「冬の湿度」についてご回答ください（1つだけに○）**

1. 湿った感じ	2. やや湿った感じ	3. ちょうどよい	4. やや乾いた感じ	5. 乾いた感じ
----------	------------	-----------	------------	----------

**1.8 本館の「夏の湿度」についてご回答ください（1つだけに○）**

1. 湿った感じ	2. やや湿った感じ	3. ちょうどよい	4. やや乾いた感じ	5. 乾いた感じ
----------	------------	-----------	------------	----------

**1.9 本館の「空気環境（におい、ほこりっぽさ等）」に満足していますか（1つだけに○）**

1. 不満	2. やや不満	3. どちらでもない	4. やや満足	5. 満足
-------	---------	------------	---------	-------

**1.10 本館の「音環境（声の間こえやすさ、外からの騒音の少なさ等）」に満足していますか（1つだけに○）**

1. 不満	2. やや不満	3. どちらでもない	4. やや満足	5. 満足
-------	---------	------------	---------	-------

**1.11 本館の「内装デザイン（壁や床の素材、色づかい等）」に満足していますか（1つだけに○）**

1. 不満	2. やや不満	3. どちらでもない	4. やや満足	5. 満足
-------	---------	------------	---------	-------

**1.12 本館では、執務に集中しやすいですか（1つだけに○）**

1. しにくい	2. ややしにくい	3. どちらでもない	4. ややしやすい	5. しやすい
---------	-----------	------------	-----------	---------

**1.13 本館を、より執務に集中しやすくするためにどのような改善が必要だと思いますか(あてはまるもの全てに○)**

1. 冬の寒さの改善	2. 夏の暑さの改善
3. 湿度の改善	4. 空気環境(におい、ほこりっぽさ等)の改善
5. 音環境(声の間こえやすさ、騒音の少なさ等)の改善	6. 内装デザイン(壁や床の素材、色づかい等)の改善
7. その他( )	

**1.14 本館では、リラックスしやすいですか（1つだけに○）**

1. しにくい	2. ややしにくい	3. どちらでもない	4. ややしやすい	5. しやすい
---------	-----------	------------	-----------	---------

① 南館（鉄筋コンクリート造庁舎）で働いている方、あるいは過去に南館で働いていた方にお伺いします。

（南館での勤務経験のない方は、以上でアンケート終了となります）



2.1 現在、南館で働いていますか。あるいは過去に南館で働いていた場合は、いつ頃ですか（1つだけに○）

1. 現在働いている 2. 1年前働いていた 3. 2年前働いていた 4. 3年以上前に働いていた

2.2 当時使っていた執務室に満足していますか（1つだけに○）

1. 不満 2. やや不満 3. どちらでもない 4. やや満足 5. 満足

2.3 南館の執務室の「冬の室温」についてご回答ください（1つだけに○）

1. 寒い 2. やや寒い 3. ちょうどよい 4. やや暑い 5. 暑い

2.4 南館の執務室の「冬の室温」に不満があった場合、不満の原因を教えてください（あてはまるもの全てに○）

1. 執務室全体が寒い 2. 足元が冷えこむ  
3. 暖房をつけてから執務室が暖まるまで時間がかかる 4. 暖房機器の周辺が暑い  
5. 暖房機器の温度を調整できない 6. 窓から日射しが当たる  
7. すきま風が寒い 8. その他( )

2.5 南館の執務室の「夏の室温」についてご回答ください（1つだけに○）

1. 暑い 2. やや暑い 3. ちょうどよい 4. やや涼しい 5. 涼しい

2.6 南館の執務室の「冬の湿度」についてご回答ください（1つだけに○）

1. 湿った感じ 2. やや湿った感じ 3. ちょうどよい 4. やや乾いた感じ 5. 乾いた感じ

2.7 南館の執務室の「夏の湿度」についてご回答ください（1つだけに○）

1. 湿った感じ 2. やや湿った感じ 3. ちょうどよい 4. やや乾いた感じ 5. 乾いた感じ

2.8 南館の執務室の「空気環境（におい、ほこりっぽさ等）」に満足していますか（1つだけに○）

1. 不満 2. やや不満 3. どちらでもない 4. やや満足 5. 満足

2.9 南館の執務室の「音環境（声の聞こえやすさ、外からの騒音の少なさ等）」に満足していますか（1つだけに○）

1. 不満 2. やや不満 3. どちらでもない 4. やや満足 5. 満足

2.10 南館の執務室の「内装デザイン（壁や床の素材、色づかい等）」に満足していますか（1つだけに○）

1. 不満 2. やや不満 3. どちらでもない 4. やや満足 5. 満足

2.11 南館の執務室では、執務に集中しやすいですか（1つだけに○）

1. しにくい 2. ややしにくい 3. どちらでもない 4. ややしやすい 5. しやすい

2.12 南館を、より執務に集中しやすくするためにどのような改善が必要だと思いますか（あてはまるもの全てに○）

1. 冬の寒さの改善 2. 夏の暑さの改善  
3. 湿度の改善 4. 空気環境（におい、ほこりっぽさ等）の改善  
5. 音環境（声の聞こえやすさ、騒音の少なさ等）の改善 6. 内装デザイン（壁や床の素材、色づかい等）の改善  
7. その他( )

2.13 南館では、リラックスしやすいですか（1つだけに○）

1. しにくい 2. ややしにくい 3. どちらでもない 4. ややしやすい 5. しやすい

## ■ 調査結果

木造庁舎と RC 造庁舎の主観調査結果を比較分析するにあたっては、同一の回答者が両方の庁舎を体験し、比較可能な状態で両執務室についての回答を得ることが望ましい。今回は、両方の庁舎を経験している職員（34 名）に着目し、両庁舎の室内環境の評価結果を比較分析した。

### ① 執務室に対する総合的な満足度

両庁舎を経験した職員に着目すると、RC 造庁舎に「満足」あるいは「やや満足」と回答した割合は約 9% であるのに対し、木造庁舎は約 62% を占めており、木造庁舎の満足率が約 7 倍高い傾向が見られた。ただし、有意差は確認されなかった（有意水準 5%）。

また、RC 造庁舎に「不満」あるいは「やや不満」と回答した割合は約 71% を占めているのに対し、木造庁舎は約 26% を占めており、RC 庁舎の不満率が約 3 倍有意に高い傾向が見られた。（有意水準 5%）

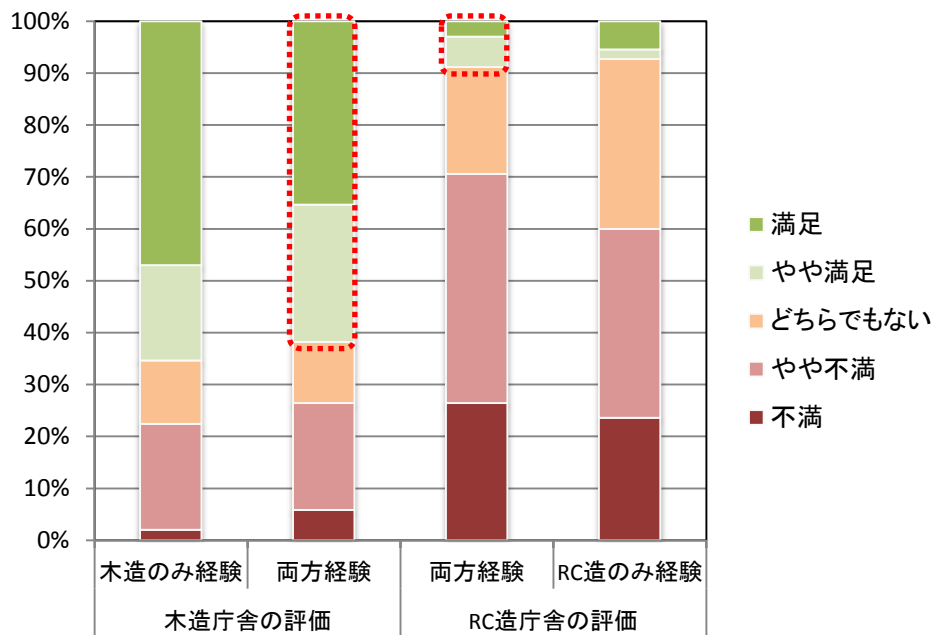


図 3-116 執務室に対する総合的な満足度

## ②冬の室温の感じ方

RC造庁舎を「ちょうどよい」と回答した割合は約21%であるのに対し、木造庁舎は約50%を占めており、木造庁舎の方が約3倍高い傾向が見られた。ただし、有意差は確認されなかった（有意水準5%）。

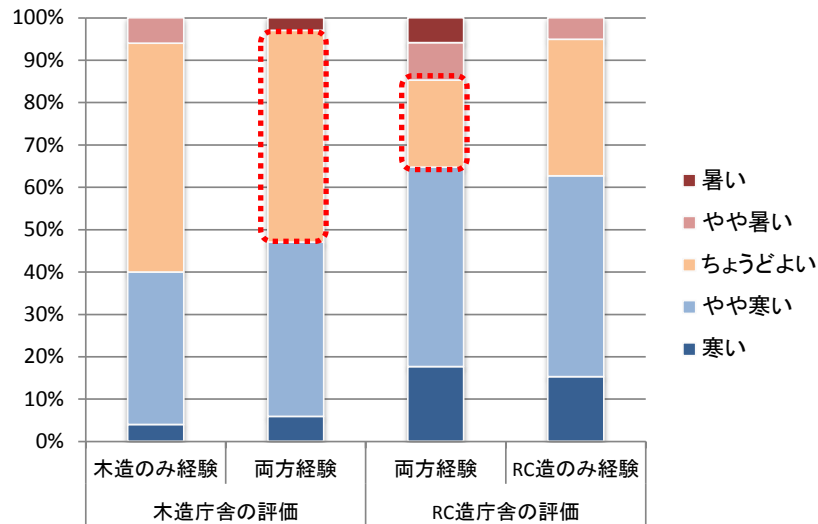


図 3-117 冬の室温の感じ方

## ③冬の室温への不満要因

RC造庁舎では「執務室全体が寒い」「足元が冷え込む」と回答する割合がやや高い傾向が見られた。ただし、いずれも有意差は確認されなかった（有意水準5%）。

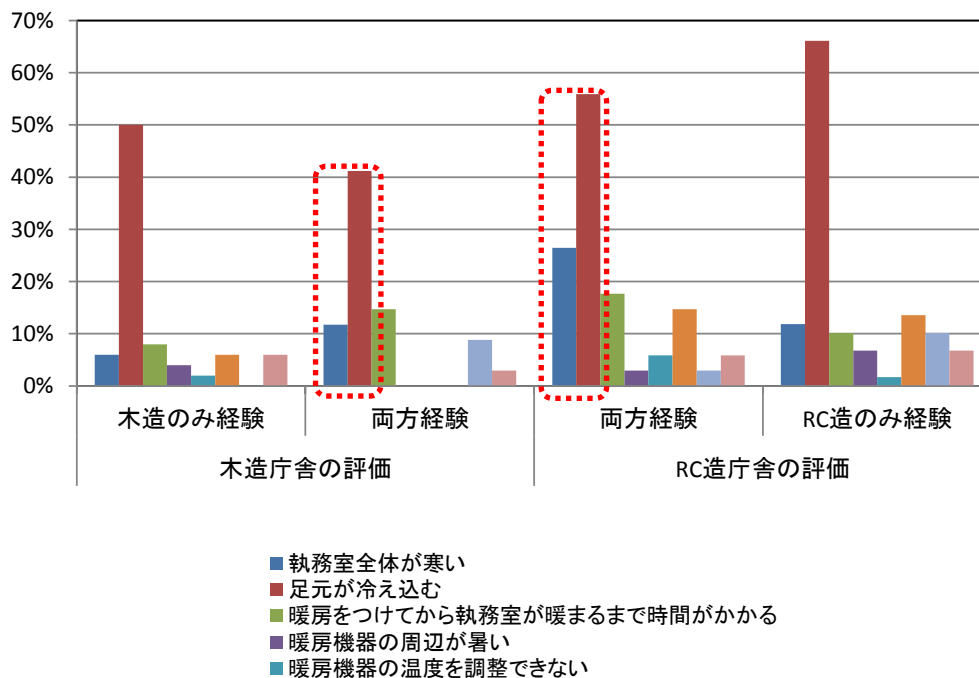


図 3-118 冬の室温への不満要因（複数回答）

#### ④夏の室温の感じ方

夏の室温の感じ方については、「ちょうどよい」と回答した割合が木造庁舎で約44%、RC造庁舎で32%で、やや木造庁舎の方が多い傾向にあるが、有意差は確認されなかった（有意水準5%）。

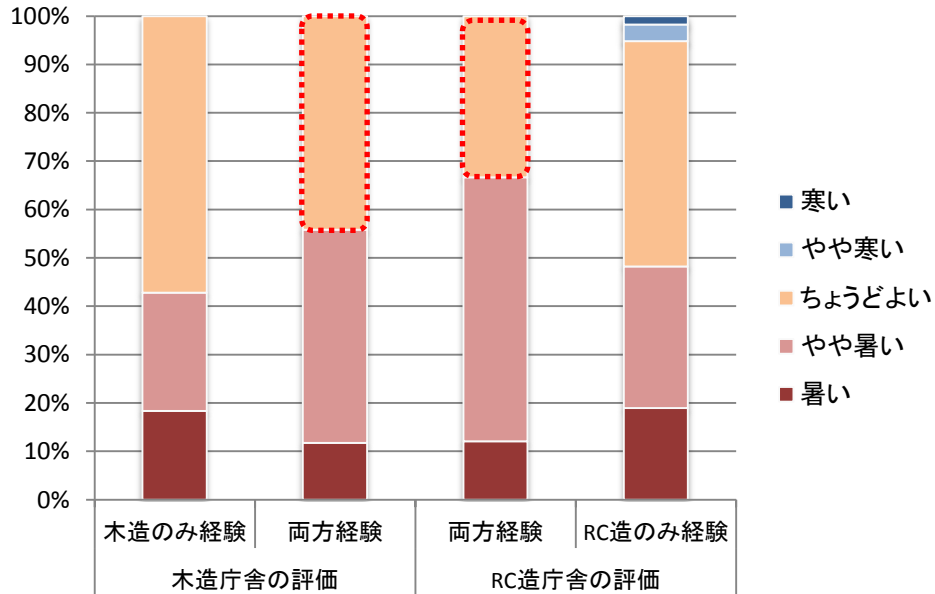


図 3-119 夏の室温の感じ方

#### ⑤冬の湿度の感じ方

冬の湿度の感じ方については、「ちょうどよい」と回答した割合が木造庁舎で約53%、RC造庁舎で44%で、やや木造庁舎の方が多い傾向にあるが、有意差は確認されなかった（有意水準5%）。

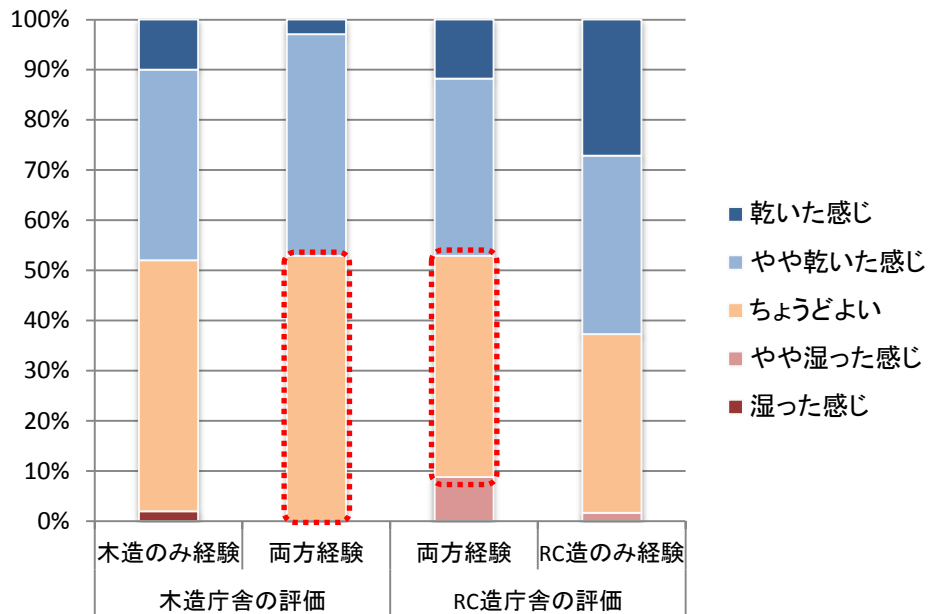


図 3-120 冬の湿度の感じ方

### ⑥夏の湿度の感じ方

夏の湿度の感じ方については、「ちょうどよい」と回答した割合が木造庁舎で約44%、RC造庁舎で65%で、木造庁舎の方がやや多い傾向にあるが、有意差は確認されなかった（有意水準5%）。

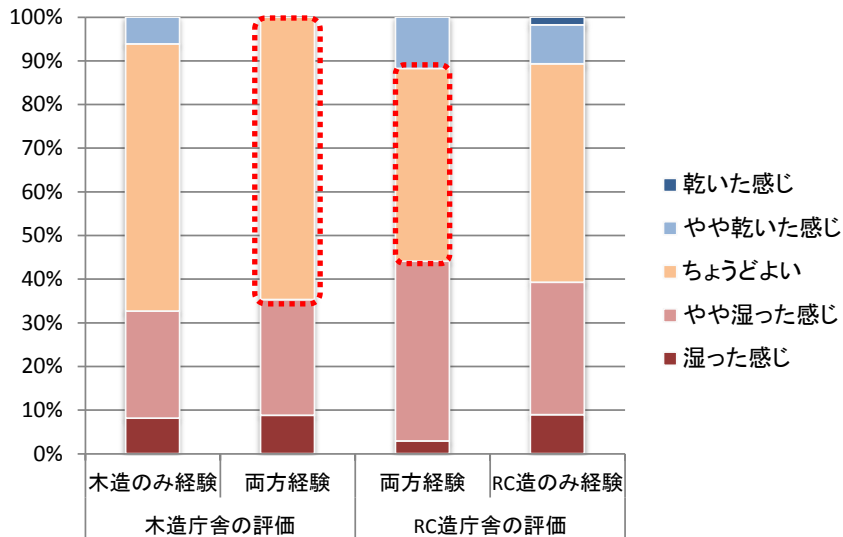


図 3-121 夏の湿度の感じ方

### ⑥空気環境（におい、ほこりっぽさ等）への満足度

空気環境への満足度は、RC造庁舎に「満足」あるいは「やや満足」と回答した割合は約3%であるのに対し、木造庁舎は約56%を占めている。木造執務室の満足度が大幅に高い傾向が見られたが、有意差はなかった（有意水準5%）。

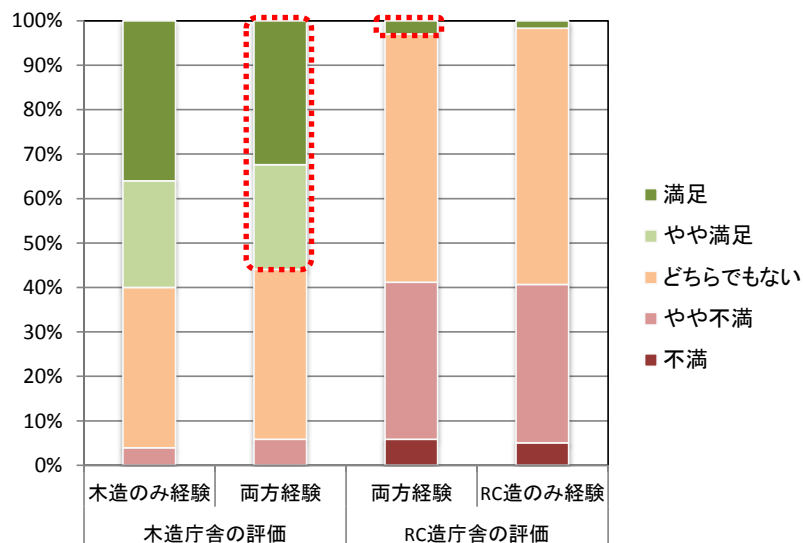


図 3-122 空気環境への満足度



### ⑦音環境への満足度

音環境への満足度は、RC造庁舎に「満足」あるいは「やや満足」と回答した割合は約24%であるのに対し、木造庁舎は約50%で、木造庁舎の方が約2倍多い傾向にあるが、有意差は確認されなかった（有意水準5%）。

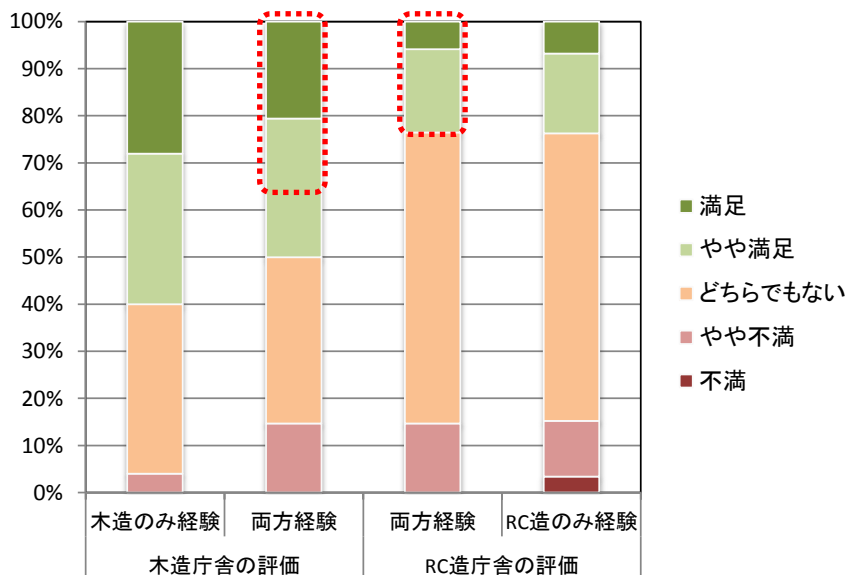


図 3-123 音環境への満足度

### ⑧内装デザインへの満足度

内装デザインへの満足度は、RC造庁舎に「満足」あるいは「やや満足」と回答した割合は約6%であるのに対し、木造庁舎は約68%で、木造庁舎の方が大幅に多い傾向にあるが、有意差は確認されなかった（有意水準5%）。

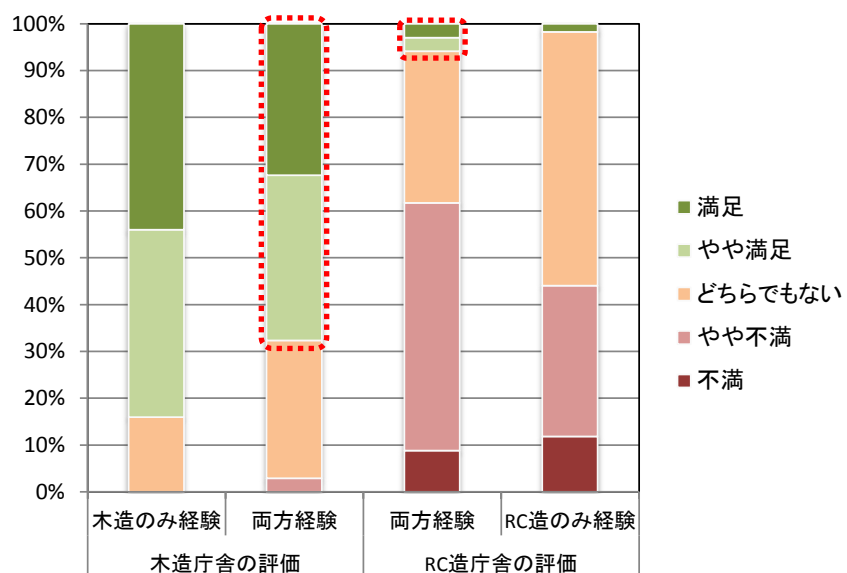


図 3-124 内装デザインへの満足度

⑨集中のしやすさについて

集中のしやすさについては、RC造庁舎に「しやすい」あるいは「ややしやすい」と回答した割合は約15%であるのに対し、木造庁舎は約62%で、木造庁舎の方が大幅に多い傾向にあるが、有意差は確認されなかった（有意水準5%）。

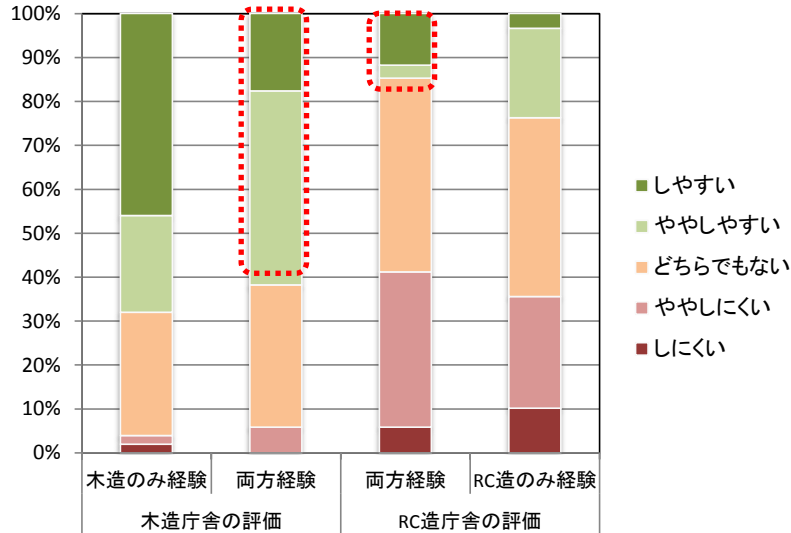


図 3-125 学習への集中しやすさ

⑩より執務に集中しやすくするために改善してほしい点

RC造庁舎の「冬の寒さの改善」や「空気環境の改善」「内装デザインの改善」への要望割合が現在の木造庁舎よりも高い傾向が見られたが、いずれも有意差はなかった。また、「夏の暑さの改善」「音環境の改善」については木造庁舎の方がRC造庁舎よりも改善要望がやや多かった。これは、木造、RC造という構造の違い以外にも、空調方式や空間構成（吹抜け等）による影響も含まれていることも考えられ、解釈には注意が必要である。

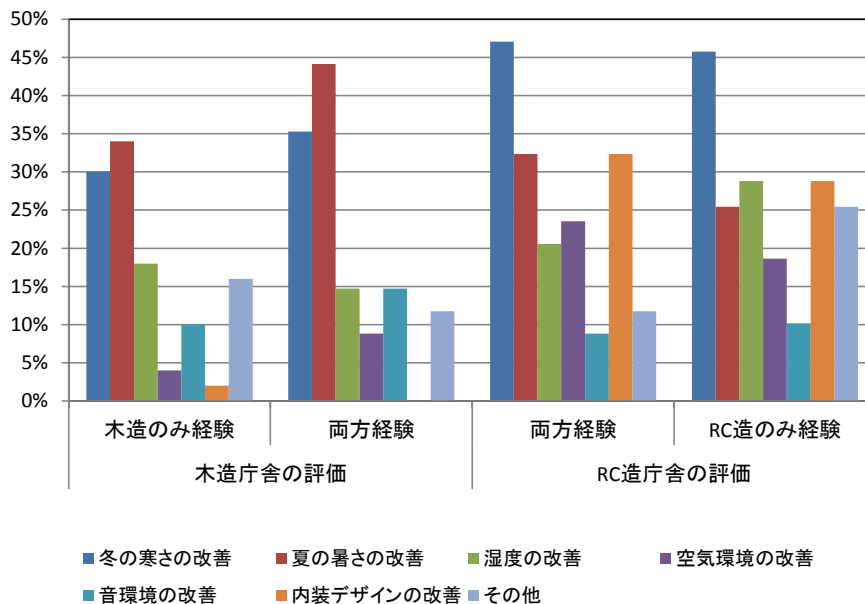


図 3-126 より執務に集中しやすくするために改善してほしい点（複数回答）

⑪リラックスのしやすさについて

リラックスのしやすさについては、RC造庁舎に「しやすい」あるいは「ややしやすい」と回答した割合は約18%であるのに対し、木造庁舎は約38%で、木造庁舎の方が約2倍多い傾向にあるが、有意差は確認されなかった（有意水準5%）。

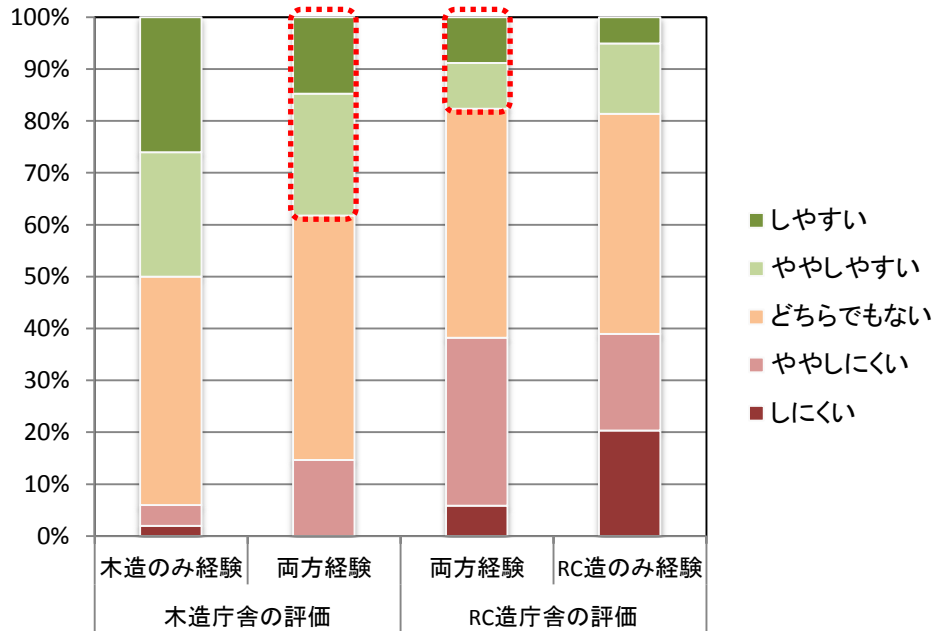


図 3-127 リラックスのしやすさ

■ アンケートによる主観評価まとめ

木造庁舎、RC 造庁舎の両方を体験している職員に着目することにより、木造庁舎と RC 造庁舎への主観的評価の違いが明らかになった。

各設問を下表の 3 つのグループに整理した。

表 3-80 アンケートによる主観評価のまとめ表

	木造執務室が高評価 (※) となった設問 [A]		木造執務室と RC 造執務室の差がなかった設問 [B]
	統計的に有意 [A-1]	統計的に有意でない [A-2]	
設問	①執務室に対する総合的な満足度（不満、やや不満の割合）	②冬の室温の感じ方 ③冬の室温への不満要因 ・執務室全体が寒い ・足元が冷え込む ⑦空気環境（におい、ほこりっぽさ等）への満足度 ⑨内装デザインへの満足度 ⑩集中のしやすさについて ⑪より執務に集中しやすくするために改善してほしい点 ・内装デザインの改善 ⑫リラックスのしやすさについて	④夏の室温の感じ方 ⑤冬の湿度の感じ方 ⑥夏の湿度の感じ方 ⑧音環境への満足度

(※) ここで、「木造庁舎が高評価」と判断した基準は以下の 2 つである。

- (1) 設問①⑥⑦⑧で「満足」「やや満足している」、設問⑨⑩で「しやすい」「ややしやすい」、設問②④⑤で「ちょうどよい」、と回答した割合について、木造庁舎と RC 造庁舎でそれぞれ比較したときに、木造庁舎の方が RC 造庁舎よりも 2 倍以上高くなっている
- (2) 設問③⑩の各選択肢について回答した割合を、木造庁舎と RC 造庁舎でそれぞれ比較したときに、木造庁舎における回答割合が RC 造庁舎のそれよりも 1/2 以下となっている

[A-1] の項目については、統計的に有意であることも踏まえ、RC 造執務室との比較における木造執務室の優位性を訴求する際の有効なポイントとなることを示している。

[A-2] の 7 つの項目については、統計的に有意でなかったが、更なる調査の展開により木造執務室の優位性が有意に明らかになる可能性があると考えられる。

[B] の 4 項目についても、④と⑤については本調査が冬期であったことから回答に差違が見られなかった可能性もあるなど、木造庁舎の優位性の有無を明らかにするために調査の工夫が必要であると考えられる。

### 3.2 土木分野における木材利用による省エネ省 CO<sub>2</sub> 効果

#### 3.2.1 丸太打設工事の CO<sub>2</sub> 排出量に関する調査

平成 25 年度は、既往研究成果や土木学会委員ヒアリング等を踏まえて丸太打設工事の標準モデルを設定し、丸太打設工法と、従来工法のサンドコンパクションパイル工法、セメント混合処理工法を比較した。

平成 26 年度は金沢市における丸太打設工事（平成 26 年 11 月）、平成 27 年度は八戸市における丸太打設工事（平成 27 年 12 月～平成 28 年 2 月）を取り上げ、現地調査に基づき、丸太使用量、輸送距離、建機のエネルギー消費量等を調査した。

なお、比較対象工法として、地盤状態により有効な地盤改良工法は異なるが、一般的な「サンドコンパクションパイル工法」および「セメント混合処理工法」を取り上げた。

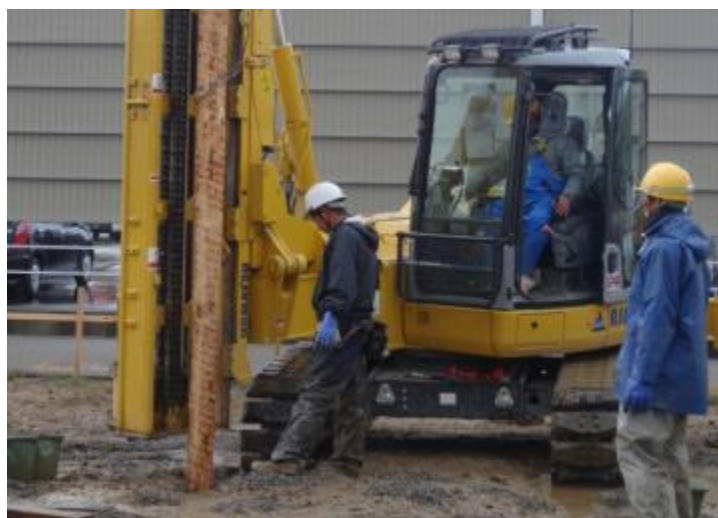


図 3-128 飛鳥建設による丸太打設工事の様子（金沢市、平成 26 年 11 月撮影）



図 3-129 飛鳥建設による丸太打設工事の様子（八戸市、平成 27 年 12 月撮影）

(1) ライフサイクルフロー図

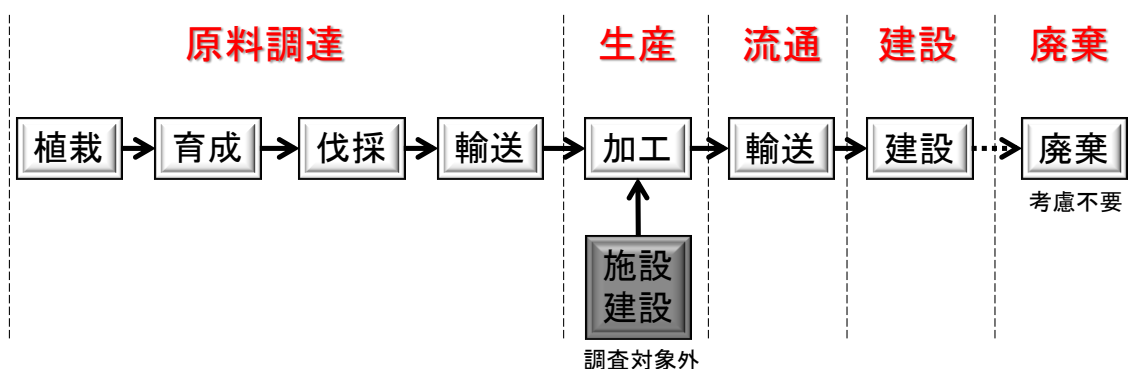


表 3-81 試算の前提条件

ライフサイクル	項目	設定条件
原料調達	利用する原材料の種類	金沢市工事：カラマツ（長野県産） 八戸市工事：スギ（青森県産）  （構造体ではないため、強度条件は特に求められず、樹種や主伐材/間伐材は特に問わない）
	木材以外に用いる資材	特になし
生産	加工処理（切削、乾燥、防腐処理等）及び燃料等のエネルギー消費量等	切削：皮むき程度 乾燥：特になし 防腐処理：特になし
維持・管理	維持管理による資材・エネルギー投入量、頻度	特になし
解体・廃棄	解体・廃棄方法	考慮しない（打設した丸太を構造材ではなく地盤改良材と位置付ける）
	耐用年数	半永久的に地中に固定されると想定

## (2) 標準工事仕様の設定

表 3-82 試算の前提条件

項目	単位	(H27年度) 八戸市の 丸太打設 工事	(H26年度) 金沢市の 丸太打設 工事	(参考)H25年度の標準ケーススタディ			
				丸太打設	サンドコン パクトシ ョンパイ ル工法	セメント 混合処理 工法	
パイル長さ	m	最深 5.9	4	8	8	8	
地盤改良面積	m <sup>2</sup>	1,800	225.4	500	500	500	
ピッチ間隔	m	0.55	0.55	0.50	1.60	1.34	
パイル径	m	0.15	0.14	0.17	0.70	-	
断面積	m <sup>2</sup>	-	-	-	-	1.50	
改良率	-	0.1	0.1	0.15	0.15	0.84	
セメント含有量	t/m <sup>3</sup>	-	-	-	-	0.10	
生産施設～建設現場 間の輸送距離	km	100	150	50	50	50	
原材料使用 量	砂	m <sup>3</sup>	-	-	-	848	-
	セメント	t	-	-	-	-	368
	丸太	m <sup>3</sup>	451.7	58.4	586	-	-
燃料消費量 (軽油)	建設機材	ℓ	97	-	-	417	1,701
	発電機	ℓ	1,259	47	-	3,581	14,732
	コンプレ ッサー	ℓ	-	-	-	1,527	-
	ホイール ローダー	ℓ	-	-	-	558	-
	バックホ ウ	ℓ	274	35.6	5,865	-	3,157
	杭打機	ℓ	12,810	433	-	-	-
	総計	ℓ	14,440	516	5,865	6,083	19,590



### (3) インベントリデータの収集

カーボンフットプリント・コミュニケーションプログラム (CFP) のデータベースから、該当するインベントリデータを収集した。

表 3-83 試算の前提条件

項目	対象プロセス	数値	単位	出典	
資材製造	丸太	(種) ~育成~ 伐採~輸送	3.37	kg-CO <sub>2</sub> eq/m <sup>3</sup>	CFP データベース (からまつ (丸太))
輸送	トラック 輸送	輸送	0.185	kg-CO <sub>2</sub> eq/t・km	CFP データベース (トラック輸送 (4 トン 車:積載率 100%))
建設	軽油	原油採取~分留 ~石油精製~燃 焼	2.77	kg-CO <sub>2</sub> eq/ℓ	CFP データベース (軽 油)、温対法に基づく排出 係数

#### (4) LCA 比較の実施

積み上げ法により、(2) で設定した標準工事仕様を基に部材使用量を積算し、(3) で収集したインベントリデータを乗じることによって LCA 比較を実施した。

表 3-84 各工事の LCCO<sub>2</sub> 排出量の算出

##### ■ 八戸市における丸太打設工事(H27年度)

項目		使用量・消費量		原単位		CO <sub>2</sub> 排出量
資材製造	丸太	452 m <sup>3</sup>	×	3.37 kg-CO <sub>2</sub> eq/m <sup>3</sup>	→	1,523 kg-CO <sub>2</sub> eq
	継ぎ材(丸鋼)	1,159 kg	×	1.79 kg-CO <sub>2</sub> eq/kg	→	2,074 kg-CO <sub>2</sub> eq
輸送	トラック輸送	14,012 t・km	×	0.185 kg-CO <sub>2</sub> eq/t・km	→	2,592 kg-CO <sub>2</sub> eq
建設	軽油	14,440 ℓ	×	2.772 kg-CO <sub>2</sub> eq/ℓ	→	40,028 kg-CO <sub>2</sub> eq
合計						46,217 kg-CO <sub>2</sub> eq

##### ■ 金沢市における丸太打設工事(H26年度)

項目		使用量・消費量		原単位		CO <sub>2</sub> 排出量
資材製造	丸太	58 m <sup>3</sup>	×	3.37 kg-CO <sub>2</sub> eq/m <sup>3</sup>	→	197 kg-CO <sub>2</sub> eq
輸送	トラック輸送	4,643 t・km	×	0.185 kg-CO <sub>2</sub> eq/t・km	→	859 kg-CO <sub>2</sub> eq
建設	軽油	516 ℓ	×	2.772 kg-CO <sub>2</sub> eq/ℓ	→	1,430 kg-CO <sub>2</sub> eq
合計						2,486 kg-CO <sub>2</sub> eq

##### ■ 丸太打設の標準モデル工事(H25年度)

項目		使用量・消費量		原単位		CO <sub>2</sub> 排出量
資材製造	丸太	586 m <sup>3</sup>	×	3.37 kg-CO <sub>2</sub> eq/m <sup>3</sup>	→	1,975 kg-CO <sub>2</sub> eq
輸送	トラック輸送	15,529 t・km	×	0.185 kg-CO <sub>2</sub> eq/t・km	→	2,873 kg-CO <sub>2</sub> eq
建設	軽油	5,865 ℓ	×	2.772 kg-CO <sub>2</sub> eq/ℓ	→	16,258 kg-CO <sub>2</sub> eq
合計						21,105 kg-CO <sub>2</sub> eq

##### ■ サンドコンパクションパイル工法(H25年度)

項目		使用量・消費量		原単位		CO <sub>2</sub> 排出量
資材製造	砂	848 m <sup>3</sup>	×	11.798 kg-CO <sub>2</sub> eq/m <sup>3</sup>	→	10,005 kg-CO <sub>2</sub> eq
輸送	トラック輸送	72,080 t・km	×	0.185 kg-CO <sub>2</sub> eq/t・km	→	13,335 kg-CO <sub>2</sub> eq
建設	軽油	6,083 ℓ	×	2.772 kg-CO <sub>2</sub> eq/ℓ	→	16,862 kg-CO <sub>2</sub> eq
合計						40,202 kg-CO <sub>2</sub> eq

##### ■ セメント混合処理工法(H25年度)

項目		使用量・消費量		原単位		CO <sub>2</sub> 排出量
資材製造	セメント	368 t	×	882 kg-CO <sub>2</sub> eq/t	→	324,576 kg-CO <sub>2</sub> eq
輸送	トラック輸送	18,400 t・km	×	0.185 kg-CO <sub>2</sub> eq/t・km	→	3,404 kg-CO <sub>2</sub> eq
建設	軽油	19,590 ℓ	×	2.772 kg-CO <sub>2</sub> eq/ℓ	→	54,303 kg-CO <sub>2</sub> eq
合計						382,283 kg-CO <sub>2</sub> eq

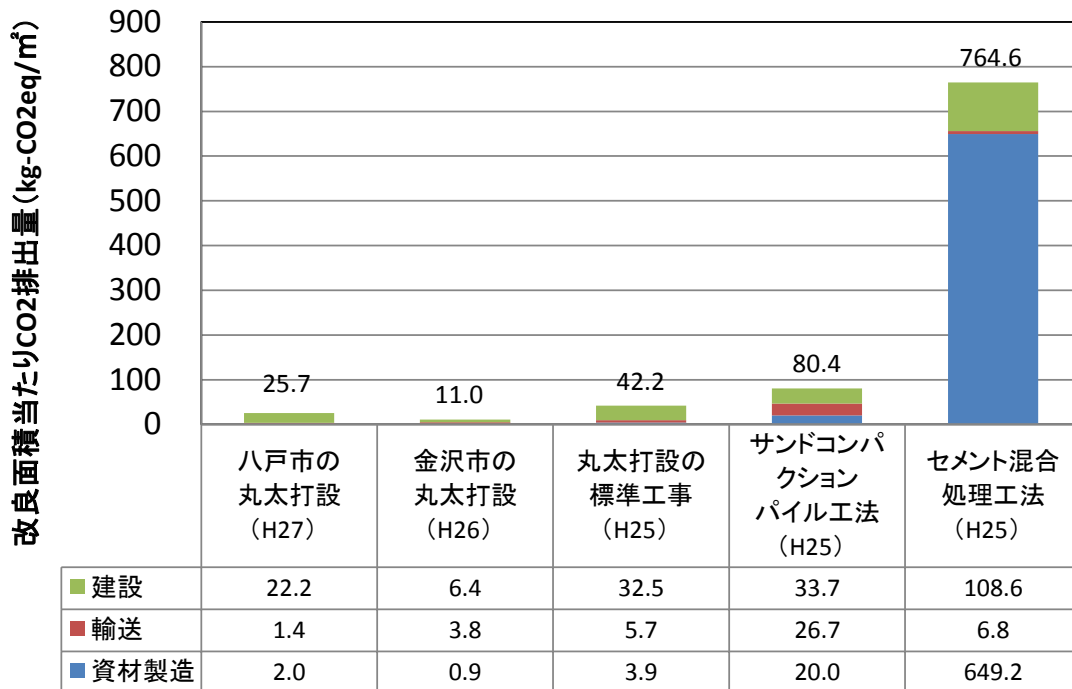


図 3-130 地盤改良工法別の LCCO<sub>2</sub> 排出量の比較

八戸市と金沢市における丸太打設工事の CO<sub>2</sub> 排出量を比較すると、八戸市の改良面積当たり CO<sub>2</sub> 排出量は 25.7kg-CO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup>、金沢市は 11.0 kg-CO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup>となった。八戸市の方が排出量が多かった原因として、八戸市では改良深度が最深 5.9m（金沢市は 4.0m）で、1 箇所につき丸太が 2 本必要になった点や、中継ぎのために丸鋼を用いた点、地中に丸太の打設を阻害する遮蔽物（過去の港湾埋立時の廃棄物等）があり打設用重機の稼働時間が長くなった点などが挙げられる。

また、平成 25 年度に検討した標準工事仕様における丸太打設工事は 42.2kg-CO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup>と、八戸市、金沢市よりも排出量が大きいが、これは改良深度が 8m、ピッチ感覚が 0.5m であり、より深く、高密度に地盤改良工事を実施したことに起因する。

いずれの丸太打設工法においても、比較対象工法であるサンドコンパクションパイル工法、およびセメント混合処理工法のいずれと比較しても、丸太打設工事の方が CO<sub>2</sub> 排出量が少ない結果が得られた。

### 3.2.2 木製遮音壁のCO<sub>2</sub>排出量に関する調査

#### (1) 群馬県の木製遮音壁

木製遮音壁は、ログパイプタイプ、枕木タイプ、テクスチャー加工タイプ等が製品化されており、今回は最も普及が進んでいるログパイプタイプを調査対象とした。比較対象としては、同等の性能（遮音性能等）を有するコンクリート遮音壁を対象とした。

標準工事仕様、各種データ等については、群馬県林業試験場 木材係 町田初男独立研究員へのヒアリングを通じて収集・整理した。



図 3-131 群馬県の木製遮音壁（ログタイプ）

#### 1) ライフサイクルフロー図

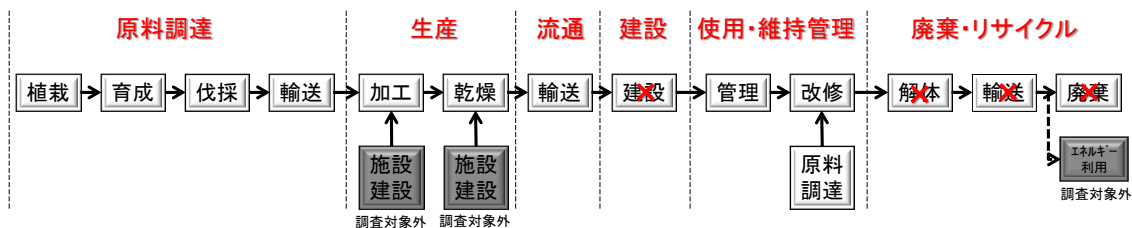


図 3-132 木製遮音壁のライフサイクルフロー

表 3-85 試算の前提条件

ライフサイクル	項目	設定条件
原料調達	利用する原材料の種類	スギが一般的。長野県ではカラマツ
	木材以外に用いる資材	基礎コンクリ、鉄柱（H 鋼）
生産	加工処理（切削、乾燥、防腐処理等）及び燃料等のエネルギー消費量等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・切削：140mm 径を <math>\phi</math> 120mm</li> <li>・乾燥：天日乾燥（6～12 カ月）</li> <li>・防腐処理：ナフテン酸塩を加圧注入（m3 当り 340～400kg）</li> </ul>
維持・管理	維持管理による資材・エネルギー投入量、頻度	特になし （近隣の植栽の手入れ程度）
解体・廃棄	解体・廃棄方法	産業廃棄物として処理 （平成初期の頃の CCA 防腐剤使用タイプは燃焼不可）
	耐用年数	20 年程度（実績ヒアリングに基づく）
その他	比較対象となる工法等	コンクリート遮音壁（高さ約 1m）

## 2) システム境界の設定

(1) で整理したライフサイクルフロー図を基に、木材利用時と非木材利用時において取り扱う範囲が同一となるよう、分科会での協議を通じてシステム境界を設定する。

## 3) 標準工事仕様の設定

木製遮音壁に関する標準仕様設定について、ヒアリングや文献調査等を通じて設定した。



図 3-133 群馬県における木製遮音壁（ログタイプ）の仕様

表 3-86 試算の前提条件

項目		木製	コンクリ製
耐用年数		20年	40年
支柱間隔		4m	4m
LCC02の機能単位		遮音壁 1m	
壁の材料	丸太（スギ）	0.102 m <sup>3</sup> /m	—
	鉄筋コンクリート	—	0.120 m <sup>3</sup> /m 276 kg/m
支柱の材料	H鋼	0.0007 m <sup>3</sup> /m	0.0007 m <sup>3</sup> /m
基礎	鉄筋コンクリート	0.048 m <sup>3</sup> /m	0.048 m <sup>3</sup> /m
施工用機械の燃料（軽油）		-	-

#### 4) インベントリデータの収集

下記の既往文献・データベースや、ヒアリング、他分科会成果等により温室効果ガスインベントリデータを収集した。

- ✓ MiLCA (産業環境管理協会)
- ✓ カーボンフットプリントコミュニケーションプログラム 基本データベース ver. 1.01 (国内データ)
- ✓ 社会資本の LCA にかかるインベントリデータ (土木学会)

#### 5) LCA 比較の実施

積み上げ法により、3) で設定した標準工事仕様を基に部材使用量を積算し、4) で収集したインベントリデータを乗じることによって LCA 比較を実施した。

表 3-87 遮音壁の LCCO<sub>2</sub> 排出量の比較

##### ■ 木製遮音壁

項目	使用量・消費量		原単位		CO2排出量
資材製造	防腐処理木材	0.102 m3	×	106 kg-CO2/m3	→ 11 kg-CO2
	H鋼	0.001 m3	×	11,954 kg-CO2/m3	→ 8 kg-CO2
	鉄コン	0.048 m3	×	577 kg-CO2/m3	→ 28 kg-CO2
	ボルト・ナット	1.504 kg	×	1.76 kg-CO2/kg	→ 3 kg-CO3
輸送	防腐処理木材	1.938 t・km	×	0.158 kg-CO2/km・t	→ 0 kg-CO3
	H鋼	0.275 t・km	×	0.158 kg-CO3/km・t	→ 0 kg-CO4
	鉄コン	5.760 t・km	×	0.158 kg-CO4/km・t	→ 1 kg-CO5
建設	軽油	ℓ	×	2.932 kg-CO2/ℓ	→ 0 kg-CO2
合計					51 kg-CO2

##### ■ コンクリート遮音壁

項目	使用量・消費量		原単位		CO2排出量
原材料	プレキャストコンクリート	0.120 m3	×	577 kg-CO2/m3	→ 69 kg-CO1
	鉄コン	0.048 m3	×	262 kg-CO2/m3	→ 13 kg-CO2
	H鋼	0.001 m3	×	11,954 kg-CO2/m3	→ 8 kg-CO2
輸送	プレキャストコンクリート	14.400 t・km	×	0.158 kg-CO2/km・t	→ 2 kg-CO3
	鉄コン	5.760 t・km	×	0.158 kg-CO3/km・t	→ 1 kg-CO4
	H鋼	0.275 t・km	×	0.158 kg-CO4/km・t	→ 0 kg-CO5
燃料	軽油	ℓ	×	2.932 kg-CO2/ℓ	→ 0 kg-CO2
合計					93 kg-CO2

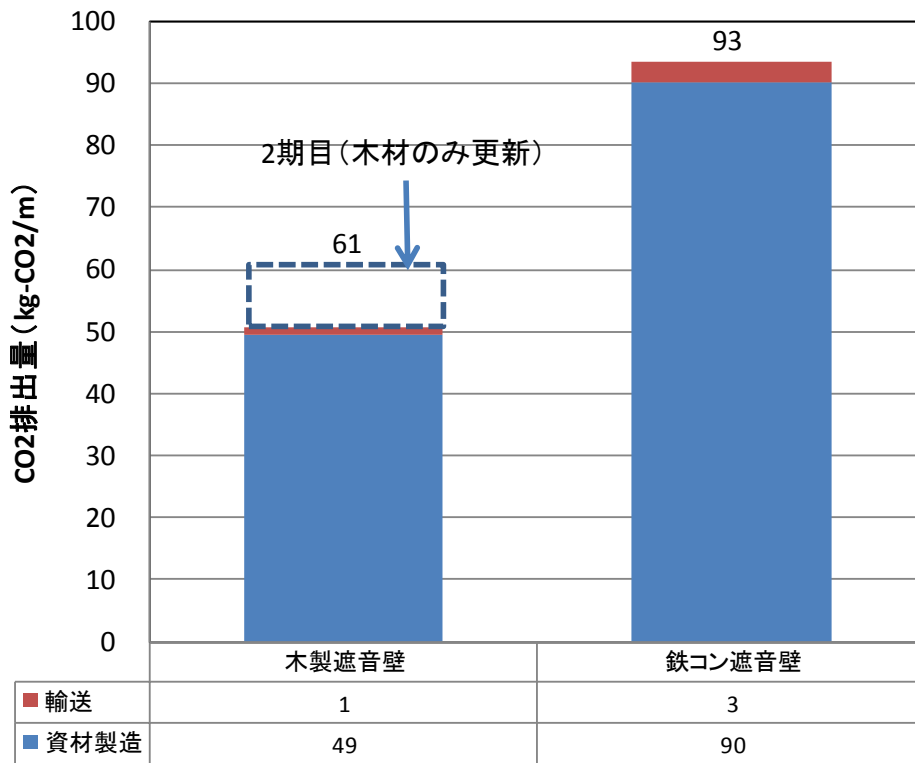


図 3-134 遮音壁の LCCO2 排出量の比較



## (2) 長野県の木製遮音壁

平成 26 年度においては、群馬県同様に木製遮音壁の研究開発・導入が進められている「長野県」における木製遮音壁を対象に LCA 調査を実施した。

長野県では、県産カラマツを用いた木製遮音壁の開発が進んでおり、近年では、中央自動車道の伊那 IC（長野県）に新たな木製遮音壁が平成 26 年に設置され、高速道路から発生する音が側道や周辺地域に届かないよう遮っている。（下写真参照）。



図 3-135 長野県における木製遮音壁の施工例（中央自動車道の伊那 IC）



図 3-136 長野県における木製遮音壁の外観（上：円柱仕様、下：角材仕様）  
出典：土木学会「シンポジウム：これからの遮音壁を考える」2014 年 10 月

## 1) 対象とするプロセスおよび設定条件

調査対象とするプロセスおよび設定条件を以下に示す。設定条件は、長野県林業総合センターへのヒアリングを通じて設定した。

なお、建設段階および廃棄段階は、LCCO<sub>2</sub> 排出量に占める割合が少なく、また、木製およびコンクリート製で大きな差が見られないことが想定されるため、システム境界外とした。

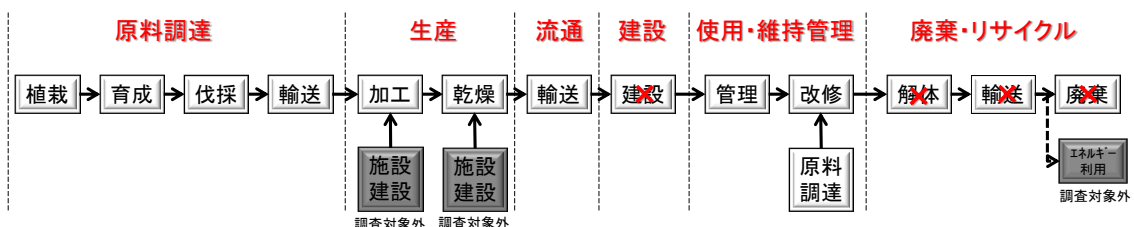


表 3-88 各プロセスの設定条件

プロセス	項目	設定条件
原料調達	利用する原材料の種類	カラマツ
	木材以外に用いる資材	基礎コンクリ、鉄柱（H 鋼）
生産	加工処理（切削、乾燥、防腐処理等）及び燃料等のエネルギー消費量等	部材段階でインサイジング加工をした後、CuAz（銅・アゾール化合物系で、低毒性の環境配慮型木材防腐剤）の加圧注入を実施。注入後の乾燥は、天然乾燥している
維持・管理	維持管理による資材・エネルギー投入量、頻度	特になし
解体・廃棄	解体・廃棄方法	産業廃棄物として処理
	耐用年数	20 年及び 30 年 (ヒアリングや実績値に基づく)

### ■ 木製遮音壁の耐用年数について

木製遮音壁は 1980 年代に開発されて以降、長野県、群馬県等の各地で導入が進められているが、比較的新しい製品のため、耐用年数に関する評価は確立されていない。

事業者ヒアリングにより、これまでの導入実績から 20 年程度の耐用年数は担保されていることを確認した。

一方、長野県林業総合センター山内らが、1985 年に長野県で施工され、現在も使用されている木製遮音壁を対象に性能試験（遮音性能試験）を実施した結果、隙間に対する若干

の補修工事（粘土等で隙間をふさぐ）ことにより木製遮音壁の設置基準を満たしていることが明らかになった。

以上の事業者ヒアリング及び性能試験結果を踏まえ、木製遮音壁の耐用年数として、20年及び30年を設定し、それぞれの場合における LCA 試算を実施することとした。

さらに、木製遮音板は塩化カルシウム等の融雪剤にも強いため、降雪地帯では、耐用年数が必ずしもコンクリート製より不利になるとは限らない点にも留意する。

(参考) 設置後約 30 年経過したカラマツ製遮音壁の音響性能

出典：長野県林業総合センター山内ら、第 66 回日本木材学会大会、2016 年 3 月

### 設置後約 30 年経過したカラマツ製遮音壁の音響性能

(長野県林総セ) ○山内仁人、  
(長野県産材販路開拓協議会) 柴田直明、丸山 浩、宮崎正毅、藤本陸史

#### 【緒言】

長野県林業指導所（現長野県林業総合センター）は、1980 年代にカラマツ製遮音板を開発し、1986 年 2 月、中央自動車道飯田 IC の南に、わが国的高速道路における第 1 号と言われる木製遮音壁の試験施工を行った<sup>1)</sup>。設置後 20 年経過時の調査では、材面割れや軽微な腐朽、ねじれ・曲がり等は生じていたものの、部材間の隙間を塞げば音響性能はほぼ初期の性能を維持していることが確認され、部材の形状・接合方法等の改良によりその性能を 20 年以上維持できる可能性が示唆された<sup>2,3)</sup>。今回、およそ 30 年経過した時点での音響性能の調査を行ったので、その結果を報告する。

#### 【実験方法】

1986 年 2 月に長野県飯田市の中央自動車道沿いに設置されたカラマツ製遮音板のうち、3 スパン分計 15 枚を 2015 年 12 月に交換し、試験体とした。遮音板の形状・寸法は図 1 のとおりで、断面形状が矢羽型の心持ちカラマツ材 5 本を 7mm 径のボルトで拘束した遮音板 (L:1960mm・H:500mm) を、コンクリート製遮音板 2 枚の上に 5 枚重ねて設置してあった (写真 1)。なお、設置時の防腐処理は PF3 の加圧注入であった。



写真-1 遮音板交換  
(2015. 12. 7)

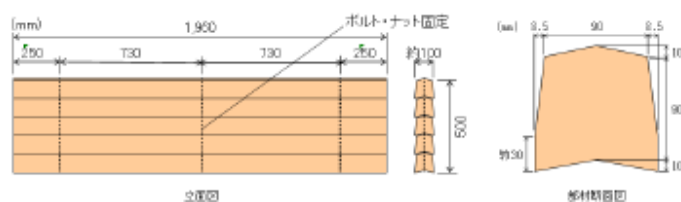


図-1 1986 年に設置したカラマツ製遮音板の形状・寸法



写真-2 カラマツ製遮音板部材断面 (30年経過時)

交換した遮音板は埼玉県草加市の一般財団法人建材試験センターへ運搬し、同第 1 音響試験棟の残響室の開口部に遮音壁の H 鋼支柱を模した鋼製枠を介して取付け、JIS A 1416 に規定された音響透過損失測定を実施した。なお、開口部の寸法が L:3680mm・H:2730mm であったため、同試験に供した遮音板は 2 スパン分計 10 枚で、うち半数は部材長を 1540mm にカットして使用した。

音響透過損失の測定は、①運搬した遮音板をそのまま重ねて実施、②ボルト穴を広げて 5 枚の遮音板を 12mm 径の通しボルトで一体化した後実施、③通しボルトによる緊結に加え木製部材の接合部の隙間を全て粘土詰めした後実施、の計 3 回とした。

#### 【結果および考察】

今回の音響透過損失の測定結果を図 2 に、設置時及び 20 年経過時の同測定結果を図 3 に示す。ボルト穴等からの雨水の侵入・直射日光の暴露等、最も設置条件が厳しい最上段の部材を除き、交換した大半の木製部材では写真 2 のように顕著な劣化は認められなかった。一方、ボルトは腐食が著しく、その締め直し等は困難で、交換作業時に部材間の隙間が拡大した可能性も考えられ、隙間処理 (シーリング) 等を行わなかった場合 (①・②) は遮音壁の設置基準 (25dB/400Hz・30dB/1000Hz)<sup>4)</sup> を満たさなかった。しかし、通しボルトへの交換 (②) に加え隙間を全て粘土で塞いだ場合 (③) は、同基準値を満たし、各周波数毎の測定値も 20 年経過時と顕著な差は認められず、前回測定時から今回の測定までに木製部材の劣化が特に進んだとは思われなかった。隙間を粘土で塞いだ③では設置基準値もクリアでき、設置時の値 (図 3・20 年前の測定値) と遜色

が無かったことから、部材の形状・接合方法の改良によって隙間が生じにくい構造とすれば、カラマツ製遮音壁の遮音性能を30年以上維持できる可能性が示された。併せて、設置現場で部材の狂い等により隙間が生じたとしても、その隙間をシーリング剤等により塞げば、初期の遮音性能を回復できる可能性も示すことができたのではないかと考える。

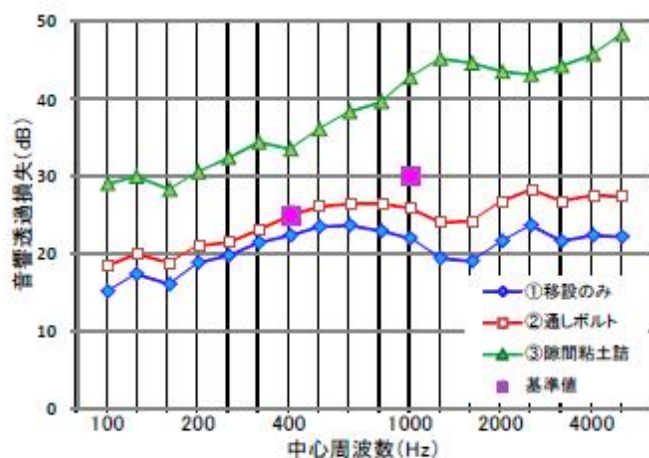


図-2 約30年経過したカラマツ製遮音壁の音響透過損失試験の結果

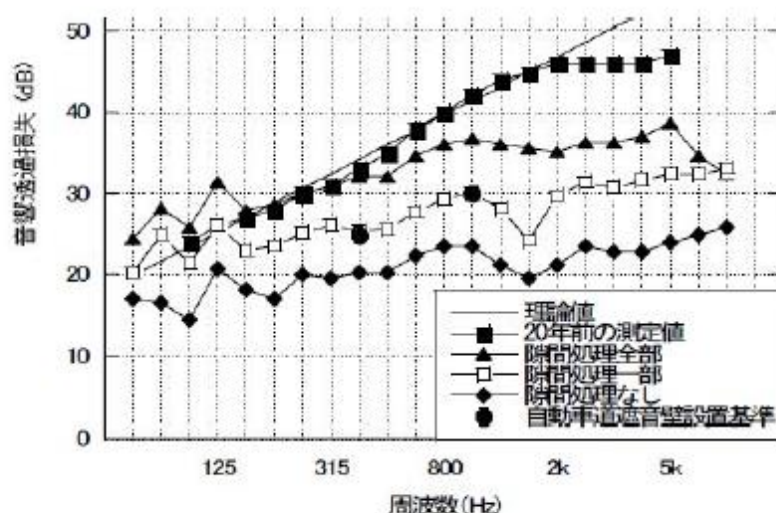


図-3 設置時及び20年経過時のカラマツ製遮音壁の音響透過損失試験結果  
(末吉ら 第58回日本木材学会大会)<sup>3)</sup>

#### 【謝辞】

本研究は平成26年度信州の木先進的加速化事業「県産材による高性能・低コスト木製遮音板開発事業」の一部として実施した。遮音板の交換では中日本高速道路株式会社名古屋支社飯田保全・サービスセンター各位の、音響性能試験では一般財団法人建材試験センター中央試験所環境グループ各位のご高配を賜った。その他、関係各位のご協力に深謝いたします。

#### 【引用文献】

- 1) 柴田直明・山内仁人・丸山淳治・手塚義明・山本洋敬：木材利用研究論文報告集13(2014), 7-12
- 2) 柴田直明・吉野安里・橋爪丈夫：第58回木材学会研究発表要旨集CD(2008), N18-1400
- 3) 末吉修三・塩田正純・坂田淳・柴田直明・吉野安里：同 要旨集CD(2008), N18-1415
- 4) 中日本高速道路：木製遮音壁技術指針(案), 2005.10

## 2) 標準工事仕様の設定

木製遮音壁に関する標準仕様設定について、ヒアリングや文献調査等を通じて設定した。

長野県では、遮音型木製遮音壁として円柱材仕様と角材仕様の2種類が開発されており、角材仕様が円柱材仕様よりも機能単位あたり木材使用量が3割程度少ない。

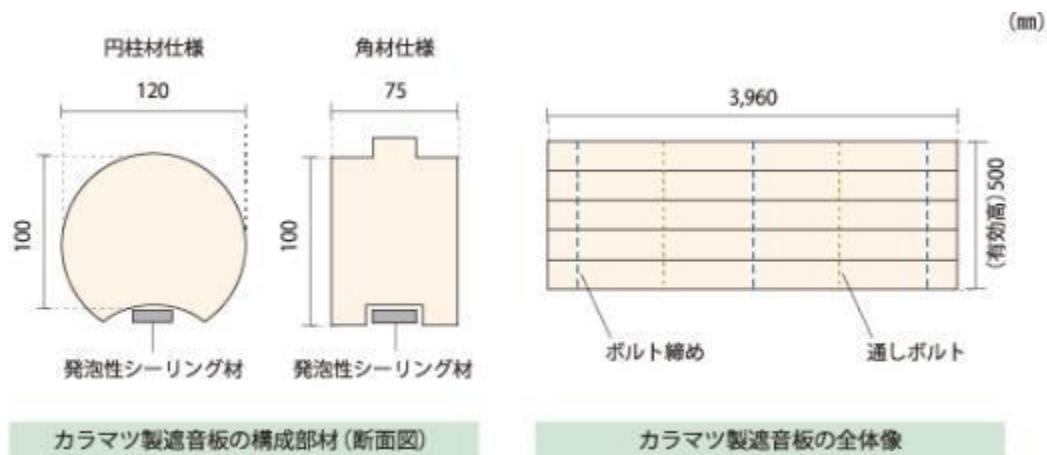


図 3-137 長野県における木製遮音壁（遮音タイプ）の仕様

表 3-89 標準工事仕様の設定条件

項目	木製		コンクリ製	
	円柱材仕様	角材仕様		
耐用年数	20年及び30年		40年	
	(H鋼、基礎コンクリート部は40年で共通)			
支柱間隔	4m			
LCCO <sub>2</sub> の機能単位	延長 1m			
壁の材料	木材（カラマツ）	0.206 m <sup>3</sup> /m	0.143 m <sup>3</sup> /m	—
	PC コンクリート	—	—	0.120 m <sup>3</sup> /m
	ボルト・ナット	0.002t/m	0.002t/m	—
支柱の材料	H鋼	0.018t/m		
基礎	コンクリート	0.12 m <sup>3</sup> /m		

### 3) インベントリデータの収集

下記の既往文献・データベース等により GHG インベントリデータを収集した。

表 3-90 収集したインベントリデータ

項目	対象プロセス	数値	単位	出典	
資材製造	防腐処理木材	資源採取～ 製品製造	106	kg-CO <sub>2</sub> eq/m <sup>3</sup>	CFP データベース (防腐処理木材)
	H 鋼	資源採取～ 製品製造	746	kg-CO <sub>2</sub> eq/t	CFP データベース (型钢)
	コンクリート (基礎部)	資源採取～ 製品製造	346	kg-CO <sub>2</sub> eq/m <sup>3</sup>	CFP データベース (生コンクリート)
	PC コンクリート (遮音板)	資源採取～ 製品製造	577	kg-CO <sub>2</sub> eq/m <sup>3</sup>	CFP データベース (生コンクリート、鉄筋)を基に推定
	ボルト・ナット	資源採取～ 製品製造	2,190	kg-CO <sub>2</sub> eq/t	CFP データベース (ボルト・ナット)
輸送	トラック輸送	輸送	0.185	kg-CO <sub>2</sub> eq/t・km	CFP データベース (トラック輸送 (4 トン車：積載率 100%))

#### 4) LCA 比較の実施

積み上げ法により、(3) で設定した標準工事仕様を基に部材使用量を積算し、(4) で収集した GHG インベントリデータを乗じることによって LCA 比較を実施した。

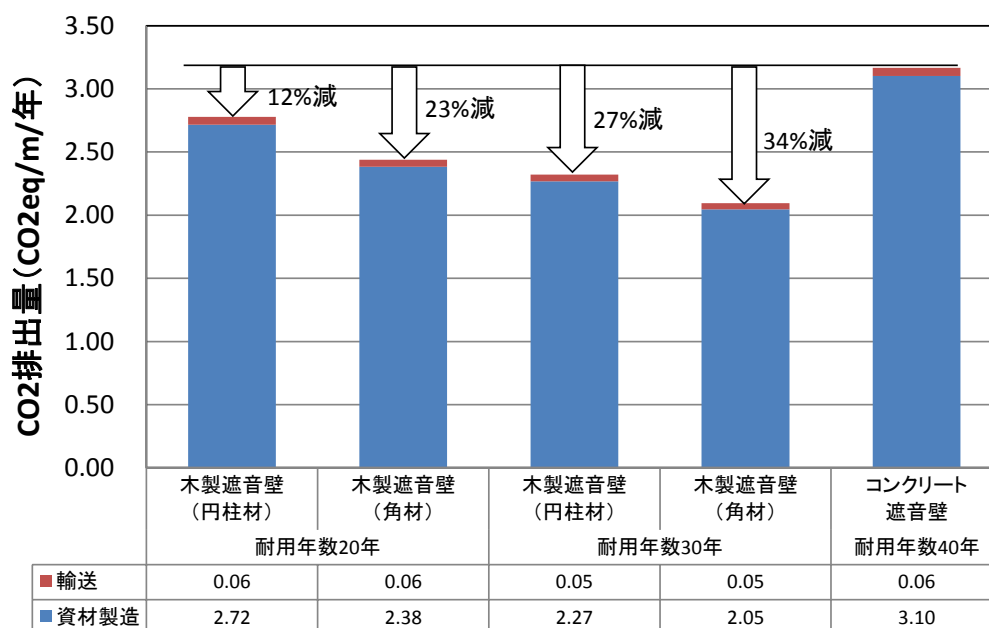


図 3-138 各種遮音壁の LCCO<sub>2</sub> 排出量の比較

木製遮音壁は、円柱材・角材ともに CO<sub>2</sub> 排出量がコンクリート遮音壁よりも低く、耐用年数が 20 年の場合はそれぞれ 12%、23%、30 年の場合はそれぞれ 27%、34% の削減効果を見込める結果となった。

また、コスト面においては、初期費用や更新費用等の増額があるものの、木製遮音壁自体が景観に優れているため、コンクリート製遮音壁等と異なりその前後に植栽をする必要がなく、枝打ち・落葉回収・草刈り等の活動に伴う CO<sub>2</sub> 排出量および維持管理費を軽減可能であるとの指摘もある<sup>9</sup>。

<sup>9</sup> 出典：公開シンポジウム「これからの遮音壁について考える」2014年10月、長野県林業総合センター柴田直明



### 3.2.3 木製ガードレールのCO<sub>2</sub>排出量に関する調査

長野県における2種類の木製ガードレールのライフサイクルGHG(CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O)排出量を評価し、鋼製ガードレールや鋼製ガードパイプとの比較を行った。

#### (1) 対象ガードレール

評価対象としたガードレール(図3-139)は、実車衝突試験に合格した路側用土中用C種とし、長野県内だけでなく全国展開している信州1号型木製ガードレール(木製1号型)、長野県内で施工実績が最も多い信州3号型木製ガードレール(木製3号型)、一般的な鋼製ガードレール、近年施工実績が増えている景観へ配慮した鋼製ガードパイプの4種類とした。



図 3-139 対象ガードレール

#### (2) ライフサイクル過程

ライフサイクル過程(図3-140)は、原材料調達、生産、施工、維持管理、廃棄を対象とした。木製ガードレールの生産過程では、長野県の実態に即して、木ビームに防腐処理を行わず塗装(1号型:水系合成樹脂塗料,3号型:油性塗料)のみを行う無処理ケースと、防腐剤(ACQ)の加圧注入を行う防腐処理ケースの2つを想定した。維持管理過程では、耐用年数経過後に木ビームの交換(木ビームの原材料調達・生産・施工)を行うこととした。なお、耐用年数については、長野県林業総合センターおよび建材メーカーN社へのヒアリング調査により、木製の無処理ケースを10年、木製の防腐処理ケースを20年、鋼製を40年と設定した。また、廃棄過程については、廃木ビームをチップ化しチップボイラーへの燃料利用による重油ボイラーの代替を想定し、発熱量ベースでチップのA重油代替量を算定した。エネルギー利用効率、チップボイラーを77.5%、重油ボイラーを88.5%(森のエネルギー研究所「木質バイオマスボイラー導入指針」2012)

とした。なお、チップの燃焼による CO<sub>2</sub> の排出は、カーボンニュートラルの概念を適用し対象外としたが、CH<sub>4</sub> と N<sub>2</sub>O は対象に含めた。

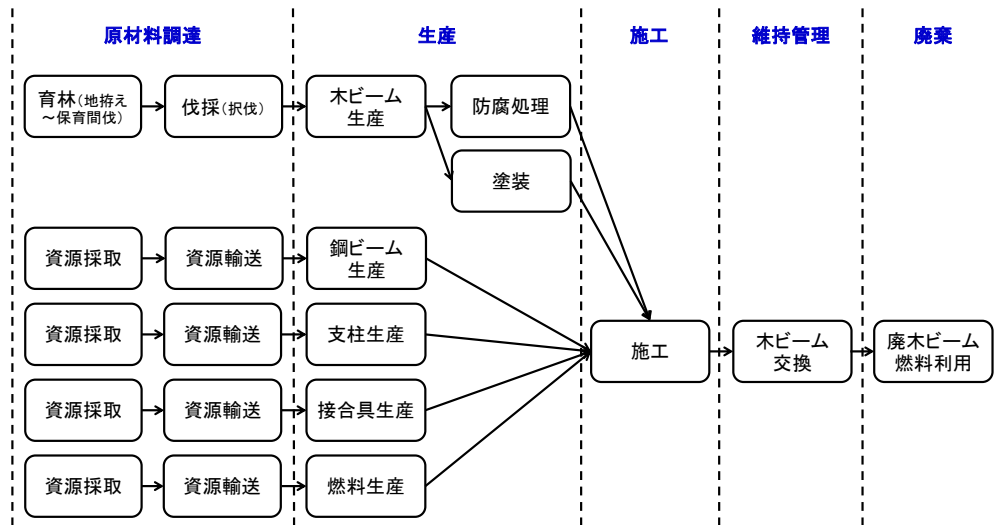


図 3-140 ライフサイクル過程

### (3) 施工条件および材料・燃料使用量

各ガードレールの施工条件と 1m 当たりの材料・燃料使用量を表-1 に示した。木製 1 号型・3 号型は長野県林業総合センターおよび建材メーカー K 社から、鋼製ガードレール・ガードパイプは建材メーカー N 社からそれぞれデータを収集した。

表 3-91 施工条件と 1m 当たりの材料・燃料使用量

		単位	木製1号型		木製3号型		鋼製ガードレール	鋼製ガードパイプ	
			無処理	防腐処理	無処理	防腐処理			
施工条件	支柱の間隔	m	4.000	4.000	2.000	2.000	4.000	3.000	
	ビームの材料	-	スギ半割材		カラマツ丸棒材		鋼材	鋼材	
	ビームの口径	m	0.180	0.180	0.180	0.180	-	-	
	耐用年数	年	10	20	10	20	40	40	
材料使用量	支柱	構造用炭素鋼管	kg	6.760	6.760	-	-	6.719	9.295
		コンクリート	kg	-	-	59.271	59.271	-	-
		普通鋼棒鋼	kg	-	-	7.695	7.695	-	-
		樹脂系粉体塗料	kg	0.049	0.049	-	-	0.049	0.069
		亜鉛めっき	kg	0.109	0.109	-	-	0.108	0.151
	接合具	ボルト類(鋼材)	kg	1.334	1.334	1.367	1.367	0.322	0.739
		インナースリーブ(鋼材)	kg	0.414	0.414	-	-	-	1.028
		ブラケット(鋼材)	kg	0.640	0.640	-	-	0.239	0.430
		連結プレート(鋼材)	kg	-	-	0.656	0.656	-	-
		樹脂系粉体塗料	kg	0.008	0.008	-	-	0.004	0.128
	木ビーム	木ビーム	m <sup>3</sup>	0.025	0.025	0.053	0.053	-	-
		防腐剤(ACQ)	kg	-	0.607	-	0.474	-	-
		水系合成樹脂塗料	kg	0.093	-	-	-	-	-
		油性塗料	kg	-	-	0.122	-	-	-
鋼ビーム	鋼ビーム	kg	13.245	13.245	-	-	8.273	8.409	
	樹脂系粉体塗料	kg	0.221	0.221	-	-	0.190	0.115	
燃料使用量	軽油	L	0.202	0.202	0.960	0.960	0.202	0.271	

(4) GHG 排出量の評価方法

各ガードレールの材料・燃料使用量（表 3-91）に GHG 排出量原単位を乗じることによってライフサイクル GHG 排出量を評価した。

表 3-92 GHG 排出量原単位

ライフサイクル過程			単位	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	GHG	評価範囲	データソース
原材料調達～ 生産	資源採取～ 支柱生産	構造用炭素鋼の生産	kg-CO <sub>2</sub> -eq/kg	1.8040	0.0324	0.0104	1.8468	資源採取～炭素鋼生産	MiLCA
		コンクリートの生産	kg-CO <sub>2</sub> -eq/kg	0.1180	0.0012	0.0004	0.1196	資源採取～生コンクリート生産	MiLCA
		普通鋼棒鋼の生産	kg-CO <sub>2</sub> -eq/kg	0.8604	0.0089	0.0079	0.8772	資源採取～棒鋼生産	MiLCA
		樹脂系粉体塗料の生産	kg-CO <sub>2</sub> -eq/kg	5.2540	0.1687	0.2992	5.7219	資源採取～塗料生産	MiLCA
		亜鉛めっきの加工	kg-CO <sub>2</sub> -eq/kg	0.2890	0.0037	0.0068	0.2995	資源採取～めっき加工	MiLCA
	資源採取～ 接合具生産	ボルトの生産	kg-CO <sub>2</sub> -eq/kg	2.3210	0.0390	0.0205	2.3804	資源採取～ボルト生産	MiLCA
		インナースリーブの生産	kg-CO <sub>2</sub> -eq/kg	2.3200	0.0376	0.0444	2.4020	資源採取～鋼板生産	MiLCA
		ブラケットの生産	kg-CO <sub>2</sub> -eq/kg	2.3200	0.0376	0.0444	2.4020	資源採取～鋼板生産	MiLCA
		連結プレートの生産	kg-CO <sub>2</sub> -eq/kg	2.3200	0.0376	0.0444	2.4020	資源採取～鋼板生産	MiLCA
		樹脂系粉体塗料の生産	kg-CO <sub>2</sub> -eq/kg	5.2540	0.1687	0.2992	5.7219	資源採取～塗料生産	MiLCA
	育林～ 木ビーム生産	丸太の生産	kg-CO <sub>2</sub> -eq/m <sup>3</sup>	5.8300	0.2390	0.0498	6.1188	育林～択伐(利用間伐)	一重ら(2013)
		木ビームの加工	kg-CO <sub>2</sub> -eq/m <sup>3</sup>	10.8046	0.0802	0.3200	11.2048	丸太からビーム加工の電力消費	K社ヒアリング
	防腐処理	木ビームの防腐処理	kg-CO <sub>2</sub> -eq/m <sup>3</sup>	19.7167	0.1464	0.5839	20.4470	ビーム防腐処理の電力消費	L社ヒアリング
		防腐剤(ACQ)の調達	kg-CO <sub>2</sub> -eq/kg	-	-	-	6.3077	防腐剤(ACQ)調達	P社ヒアリング
	塗装	水系合成樹脂塗料の生産	kg-CO <sub>2</sub> -eq/kg	3.6400	0.2281	0.1112	3.9793	資源採取～塗料生産	MiLCA
		油性塗料の生産	kg-CO <sub>2</sub> -eq/kg	3.5100	0.2275	0.1043	3.8418	資源採取～塗料生産	MiLCA
	資源採取～ 鋼ビーム生産	鋼ビームの生産	kg-CO <sub>2</sub> -eq/kg	2.3200	0.0376	0.0444	2.4020	資源採取～鋼板生産	MiLCA
		樹脂系粉体塗料の生産	kg-CO <sub>2</sub> -eq/kg	5.2540	0.1687	0.2992	5.7219	資源採取～塗料生産	MiLCA
施工	軽油の生産・燃焼	kg-CO <sub>2</sub> -eq/L	2.8207	0.1073	0.0140	2.9420	資源採取～燃料生産～燃焼	MiLCA	
廃木ビーム燃料利用	チップの加工	kg-CO <sub>2</sub> -eq/m <sup>3</sup>	4.2311	0.1610	0.0209	4.4130	ビームからチップ加工の軽油消費	N社ヒアリング	
	チップの燃焼	kg-CO <sub>2</sub> -eq/m <sup>3</sup>	-	0.0025	0.0002	0.0027	チップの燃焼(CO <sub>2</sub> は対象外)	MiLCA	
	A重油の生産・燃焼	kg-CO <sub>2</sub> -eq/L	2.9891	0.1137	0.0148	3.1176	資源採取～燃料生産～燃焼	MiLCA	

※1) 各GHGは地球温暖化係数100年値(GWP<sub>100</sub>) (CO<sub>2</sub>: 1, CH<sub>4</sub>: 34, N<sub>2</sub>O: 298) (IPCC, AR5, 2013)を用いてCO<sub>2</sub>換算(kg-CO<sub>2</sub>-eq)した。

※2) MiLCA: 産業環境管理協会, MiLCAデータベース, 2014.

※3) 一重ら(2013): 一重喬一郎, 長谷川隆大, 長谷川香織, 寺澤健治, 山中一憲, 服部順昭, 国産丸太のライフサイクルアセスメント事例, 木材学会誌 59(5), p. 269-277, 2013.

## (5) GHG 排出量の評価結果

評価期間 40 年におけるライフサイクル GHG 排出量の評価結果を表 3-93 と図 3-141 に示した。

2 種類の木製を比較すると、3 号型は 1 号型よりも排出量が小さかった。防腐処理の有無に着目すると、無処理ケースの方が防腐処理ケースよりも排出量は小さくなった。木製と非木製を比較すると、木製 3 号型は鋼製よりも排出量が小さいが、木製 1 号型は大きくなった。ただし、廃木ビームの燃料利用を考慮すると、木製 3 号型は無処理・防腐処理ケースとともに GHG 排出削減量が排出量を大きく上回り、鋼製との代替により大幅な削減効果が見込まれる結果となった。木製 1 号型の無処理ケースは鋼製よりも排出量が小さくなるが、木製 1 号型の防腐処理ケースは鋼製よりも大きくなり、削減効果は期待できないことが分かった。

表 3-93 評価期間 40 年における GHG 排出量の評価結果(+:排出, -:削減) (kg-CO<sub>2</sub>-eq/m)

	木製1号型		木製3号型		鋼製	
	無処理	防腐処理	無処理	防腐処理	ガードレール	ガードパイプ
耐用年数(年)	10	20	10	20	40	40
支柱生産	12.80	12.80	14.00	14.00	12.72	17.61
鋼ビーム生産	33.08	33.08			20.96	20.86
接合具生産	5.75	5.75	4.83	4.83	1.36	6.00
木ビーム生産	0.48	0.48	0.99	0.99		
木ビーム防腐処理		4.35		4.07		
木ビーム塗装	0.37		0.47			
施工	0.59	0.59	2.82	2.82	0.59	0.80
木ビーム交換(10年目)	0.85		1.46			
木ビーム交換(20年目)	0.85	4.82	1.46	5.06		
木ビーム交換(30年目)	0.85		1.46			
廃木ビーム燃料利用	-31.57	-15.78	-84.84	-42.42		
合計	24.05	46.08	-57.34	-10.65	35.64	45.26

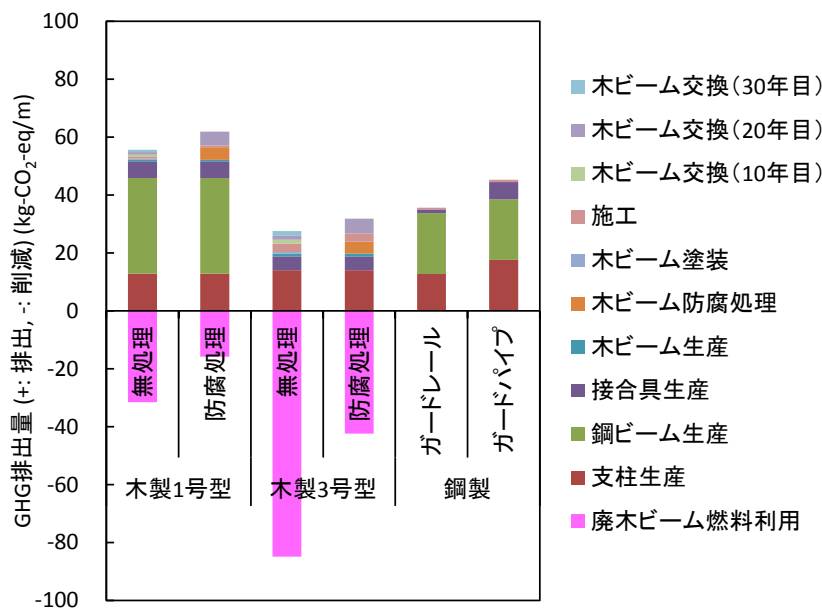


図 3-141 評価期間 40 年における GHG 排出量の評価結果 (kg-CO<sub>2</sub>-eq/m)

### 3.2.4 木製治山ダムの CO<sub>2</sub> 排出量に関する調査

「木製治山ダム」「コンクリート製治山ダム」を同一の機能単位と仮定して LCA を行った。ただし、検討の過程において、木製・コンクリート製それぞれに特異な機能付与（特に木製については自然素材・地場産素材の活用などの期待からの導入）が存在することから、完全に一致した機能単位での LCA となっていない点に注意が必要である。

京都府綾部市に建設された木製治山ダム（平成 26 年度工事）を対象とし、LCA を実施した（図 3-142）。また、これを 2 つの既存研究と比較した。

既存研究①（細川大地、高奥信也、橋本征二：木製治山ダムのライフサイクル評価、第 8 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集、pp.376-377、2013）は、京都府福知山市に建設された木製治山ダム（平成 24 年度工事）を対象としたもの、既存研究②（Noda, R., Kayo, C., Sasaki, T., Takaoku, S.: Evaluation of CO<sub>2</sub> emissions reductions by timber check dams and their economic effectiveness, *Journal of Wood Science*, 60, pp.461-472, 2014）は、秋田県に建設された木製治山ダム（オールウッド、ハイブリッド：図 3-143）およびコンクリート製治山ダムを対象としたものである。なお、既存研究①に関しては、部材数量等をもとに、MiLCA（産業環境管理協会）を用いて条件を揃え、本調査研究において再度試算を行った。

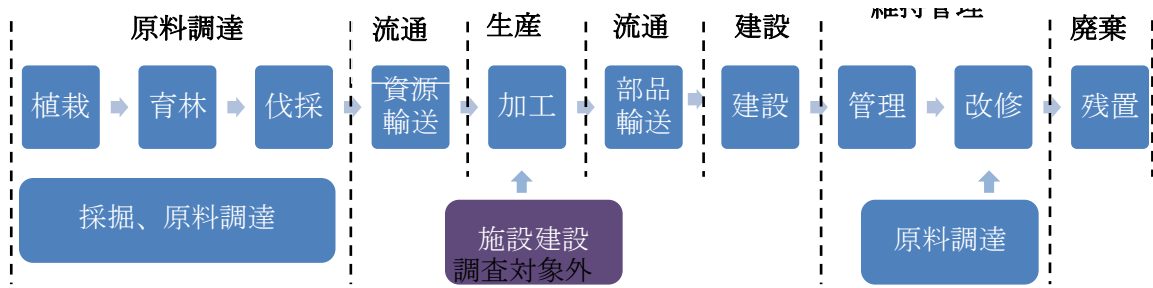


図 3-142 京都型木製治山ダム



図 3-143 秋田型木製治山ダム(a)オールウッドダム、(b)ハイブリットダム (Noda et al., 2014)

(1) ライフサイクルフロー図



(2) システム境界の設定

ライフサイクルフロー図で示した通り、原料調達から流通、生産、建設、維持管理、廃棄までの 6 段階を調査対象システムとした。生産に必要な施設建設は調査対象外とした。また、ダムが寿命を迎えた後は当該地に残置するものとしたため、解体撤去は考慮していない。試算の前提条件は表 3-94、図 3-144、図 3-145 に示すとおりである。

表 3-94 試算の前提条件

ライフサイクル	項目	京都型木製治山ダム		秋田型木製治山ダム		コンクリート製治山ダム (Noda et al., 2014)	
		綾部市 (本研究)	福知山市 (細川ら、2013)	オールウッド (Noda et al., 2014)	ハイブリッド (Noda et al., 2014)		
原料調達	利用する原材料の種類	スギ間伐材					—
	上記以外に使用する資材	丸鋼、ボルト、ラグスクリュー、中詰石	ラグスクリュー	鋼板、中詰石	コンクリート、型枠		
生産	加工	太鼓挽き W=200mm, H=170mm, L=4m		4面落とし 300mm×250mm	角材	—	
維持管理	耐用年数	50年					—
	点検	1年に一度		5年に一度		10年に一度	
	補修	10年に一度、堤体使用材積の10%を交換		20年に一度、図 3-144、図 3-145 に示す箇所を交換		なし	
廃棄	廃棄方法	解体せず当該地に残地					

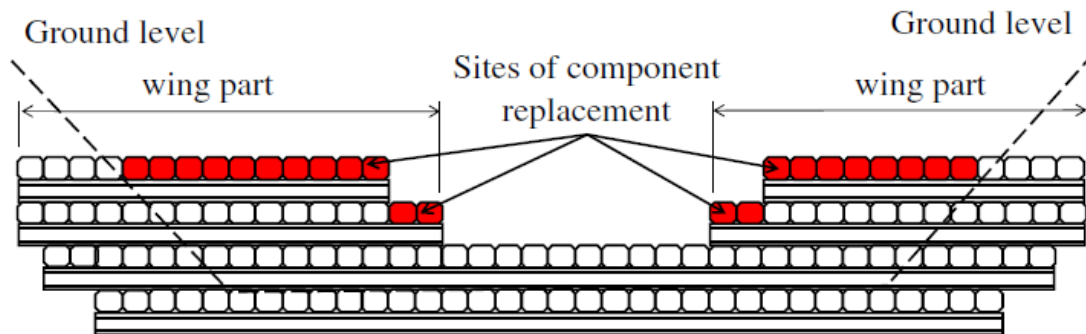


図 3-144 オールウッドダムの補修箇所 (Noda et al., 2014)



図 3-145 ハイブリッドダムの補修箇所 (Noda et al., 2014)

### (3) 標準工事仕様の設定

木製治山ダムについては標準仕様モデルを設定することが難しいため、実際の事例をもとに表 3-95 のとおり整理した。なお、京都型については、京都府が独自に定めた木製治山ダムの設置基準を満たしている。また、綾部市の京都型木製治山ダムについては、建設段階のエネルギー消費量を建設現場において調査した。

表 3-95 木製治山ダムおよびコンクリート製治山ダムの工事仕様

項目	単位	京都型木製治山ダム		秋田型木製治山ダム		コンクリート製治山ダム (Noda et al., 2014)	
		綾部市 (本研究)	福知山市 (細川ら、 2013)	オール ウッド (Noda et al., 2014)	ハイブ リッド (Noda et al., 2014)		
堤体体積	m <sup>3</sup>	85.9	91.3	186.9	156.0	129.4	
土砂抑止量	m <sup>3</sup>	184.8	151.4	850.0	850.0	850.0	
原材料 使用量	使用木材材積	m <sup>3</sup>	29.1	28.0	186.9	101.4	6.06
	ボルト、ナット	kg	250.6	214.6	1020.0	—	—
	ワッシャー	円	5545.8	4639.8	—	—	—
	丸鋼	kg	131.6	151.5	1260.0	—	—
	鋼板	t	—	—	—	10.05	—
	コンクリート	m <sup>3</sup>	—	—	—	—	145.58
	人口張芝	m <sup>2</sup>	59.6	67.0	75.7	71.1	46.6
	砕石	t	221.3	196.0	—	98.3	—
	塩化ビニル管	t	—	—	0.23	0.11	0.16
燃料消 費量	軽油	L	836.7	不明※	1469.4	523.3	377.3
	ガソリン	L	0	不明※	1.8	1.9	1.2

※ 細川ら（2013）では、燃料消費量から CO<sub>2</sub> 排出量を算出しておらず、各機械の時間当たり燃料消費量、排出係数、時間当たり工量、作業量から算出している。文献に記載されている内容からは燃料消費量を算出できなかったため、建設段階での CO<sub>2</sub> 排出量は文献内の値をそのまま用いた。

#### (4) インベントリデータの収集

綾部市の京都型木製治山ダムについては、その木材加工にかかる電力消費量のデータを、京都木材加工センターにて収集した。その他の値に関しては、表 3-96 に示す MiLCA（産業環境管理協会）の値を使用した。また、秋田型については文献に掲載されていた値を同表に整理しているが、これも MiLCA を使用している。京都型との値の違いは、秋田型の調査が行われた時点と本調査研究の実施時点で電源構成が異なること等による影響が考えられる。



表 3-96 資材製造、化石燃料燃焼の CO<sub>2</sub> 排出原単位

項目	単位	京都型木製治山ダム		秋田型木製治山ダム		コンクリート製治山ダム (Noda et al., 2014)
		綾部市 (本研究)	福知山市 (細川ら、 2013)	オール ウッド (Noda et al., 2014)	ハイブ リッド (Noda et al., 2014)	
原木の生産	kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	9.86		54.09	54.09	238.6
資材加工	kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	57.34				
ボルト、ナット	kg-CO <sub>2</sub> /kg	2.25		2.32	—	—
ワッシャー	kg-CO <sub>2</sub> /円	0.0084		—	—	—
丸鋼	kg-CO <sub>2</sub> /kg	0.85		0.86	—	—
鋼板	kg-CO <sub>2</sub> /t	—		—	1824.00	—
コンクリート	kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	—		—	—	289.5
人口張芝	kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	18.08		18.08	18.08	18.08
砕石	kg-CO <sub>2</sub> /t	11.20		—	7.08	—
塩化ビニル管	kg-CO <sub>2</sub> /t	—		3352.00	3352.00	3352.00
軽油の製造	kg-CO <sub>2</sub> /L	0.21		0.21	0.21	0.21
軽油の燃焼	kg-CO <sub>2</sub> /MJ	0.074		0.074	0.074	0.074
ガソリンの製造	kg-CO <sub>2</sub> /L	0.40		0.40	0.40	0.40
ガソリンの燃焼	kg-CO <sub>2</sub> /MJ	0.079		0.079	0.079	0.079

## (5) LCA 比較の実施

積み上げ法により、表 3-95 で整理した工事仕様に記載された部材使用量に対し、表 3-96 で収集したインベントリデータを乗じることによって LCA を実施し、既存研究と比較した。結果を表 3-97 に示す。なお、比較を行うためにダムの上砂抑止量あたりの CO<sub>2</sub> 排出量 (kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>) を示している。

いずれのダムも原材料の採取・製造・輸送段階の排出量が最も大きく、全体の 75%～98% を占めた。京都型木材治山ダム・綾部市においては、部品製造に伴う排出が大きく、全体の 34% を占めた。また、秋田型木製治山ダム・オールウッドの CO<sub>2</sub> 排出量が最も少ない結果となった。

木製治山ダムとコンクリート製治山ダムを上砂抑止量当たりで比較すると、秋田型木製治山ダムに関してはコンクリート製治山ダムの 46～57% の CO<sub>2</sub> 排出量であり、コンクリート製治山ダムから木製治山ダムに代替することによる CO<sub>2</sub> 削減効果が見込まれる。しかし、京都型木製治山ダムに関してはコンクリート製治山ダムの 140～155% の CO<sub>2</sub> 排出量であり、CO<sub>2</sub> 排出量が増加する結果となった。これは、京都型と秋田型の規模の違いが要因と考えられる。上砂抑止量で見ると、秋田型は京都型の 4.6～5.6 倍である。一般的に規模が大きいほど、単位機能あたりの環境負荷は小さくなると考えられるため、京都型木製治山ダムと秋田型木製治山ダムの結果が逆転したものと考えられる。

今後は、京都型木製治山ダムについても同規模のコンクリート製治山ダムとの比較を行っていく必要がある。このほか、補修の頻度や木材の腐朽状況、輸送距離の違いも結果に影響を与えていると考えられる。比較にあたっては、こうした点も考慮する必要がある。

※冒頭でも述べたとおり、検討の過程において、木製・コンクリート製それぞれに特異な機能付与（特に木製については自然素材・地場産素材の活用などの期待からの導入）が存在することから、完全に一致した機能単位での LCA となっていない点に注意が必要である。

表 3-97 木製治山ダムの LCCO<sub>2</sub> 排出量の比較（土砂抑止量あたり・kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>）

項目	京都型木製治山ダム		秋田型木製治山ダム		コンクリート製治山ダム (Noda et al., 2014)
	綾部市 (本研究)	福知山市 (細川ら、 2013)	オール ウッド (Noda et al., 2014)	ハイブ リッド (Noda et al., 2014)	
資源採取	11.9	13.2	18.8	28.4	53.1
資源輸送	13.9	15.2			
部品製造	25.5	28.6			
部品輸送	6.4	6.9			
建設	11.8	12.0	4.7	1.6	1.2
維持管理	6.7	8.0	1.5	0.8	0
残置	0	0	0	0	0
合計	76.1	83.9	25.0	30.8	54.2

### 3.2.5 木製水制工の CO<sub>2</sub> 排出量に関する調査

「水制工」を木質化した場合を、コンクリート製のものと同じの機能単位と仮定して LCA を行った。ただし、検討の過程において、「木製水制工」と「コンクリート製」のもので機能付与（特に木製については自然素材・地場産素材の活用などの期待からの導入）されており、完全に一致した機能単位での LCA となっていない点に注意が必要である。

#### (1) 木製水制工の LCCO<sub>2</sub> の分析結果

##### a. 木製護岸工事の LCCO<sub>2</sub> の分析結果

###### ① 木製護岸工の概要

木製護岸工の外観・図面を図 3-146～図 3-148 に示す。使用されている木材や金属の量を表 3-98～表 3-100 に示す。（出典：土木用木材木製品設計マニュアル，北海道(平成 22 年 11 月改定) 防腐処理木材を使用した場合，耐用年数は 10 年程度と想定されている。



図 3-146 木製護岸工（ナチュラルウッド）

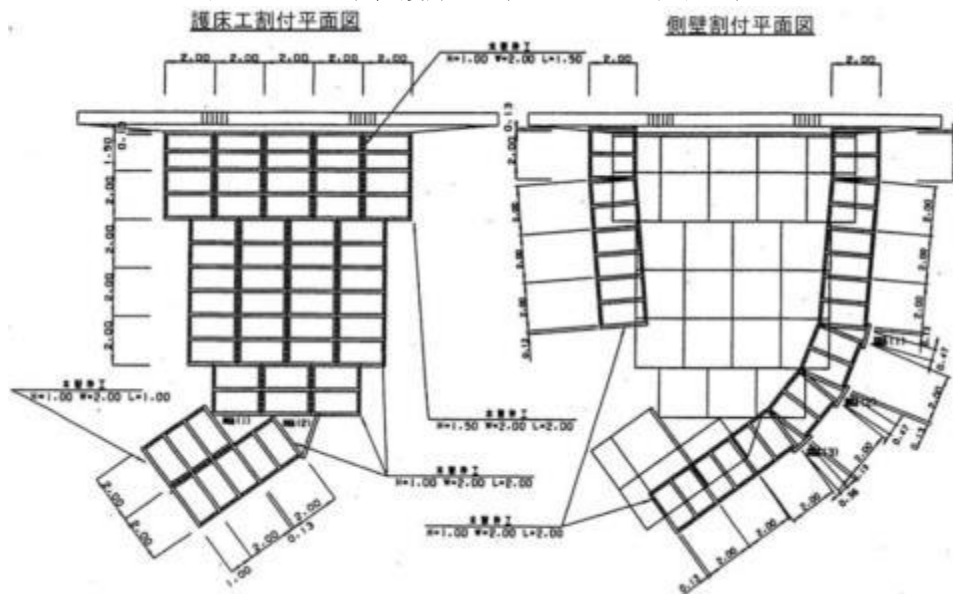


図 3-147 木製護岸工（ナチュラルウッド）の平面図

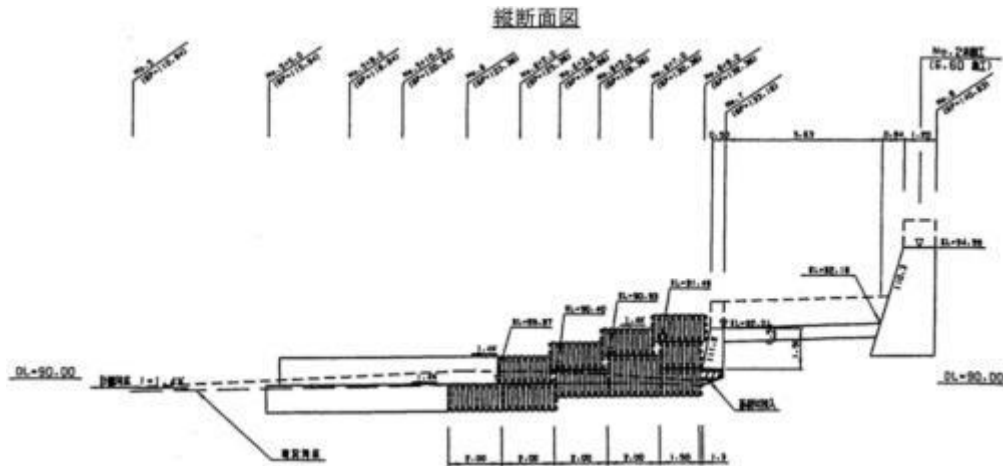


図 3-148 木製護岸工（ナチュラルウッド）の縦断面図

表 3-98 木製護岸工における木材材積表

名称	規格	種類	単位量(m <sup>3</sup> )	本数(本)	数量(m <sup>3</sup> )
柱材(H)	径0.125m 長さ1.000m	北海道カラマツ間伐材		16	0.250
間柱材	径0.125m 長さ0.125m	北海道カラマツ間伐材		12	0.023
敷丸太(W)	径0.125m 長さ2.000m	北海道カラマツ間伐材		7	0.219
梁渡材(W)	径0.125m 長さ2.000m	北海道カラマツ間伐材		5	0.156
使用材積量					0.650

表 3-99 木製護岸工における金属材積表

名称	径(m)	長さ(m)	使用本数(本)	重量(kg)	備考
全ねじ綱	16	1.980	4	12.355	単位重量1.56kg/m
全ねじ綱	16	0.250	4	1.560	単位重量1.56kg/m
ナット	M-16		16	0.480	
座金	M-18		16	0.160	
使用重量計(kg)				14.555	

表 3-100 木製護岸工における内容積・重量計算書

材料/規格	計算式	単位	数量
ナチュラルウッド NW-10-20(20)-20	木材材積表より	m <sup>3</sup>	0.65
	木材比重=0.75として、 木材材積と金属材積表による	t	0.488
詰石	H内寸法=H-0、10-丸太径	m	0.838
	W内寸法=W-丸太径×2	m	1.75
	L内寸法=L-丸太径	m	1.875
内容積	H内寸法×W内寸法×L内寸法	m <sup>3</sup>	2.748
重量	詰石比重=1.77として、上記内容積より	t	4.864
全体重量	ナチュラルウッド+詰石	t	5.352

## b. LCCO<sub>2</sub>の試算結果

試算に用いる CO<sub>2</sub> 原単位は以下の通りである。輸送距離は、木材：片道 30km，碎石：片道 50km，金属：片道 50km と仮定し，往復で算出する。

表 3-101 使用した CO<sub>2</sub> 原単位

資材	単位(※)	CO <sub>2</sub> 排出量原単位 (kg-CO <sub>2</sub> /※)
製材	t	1.41E+02
普通鋼形鋼	t	1.17E+03
建設用金属製品	t	2.37E+03
ボルト・ナット	t	2.76E+03
砂・砂利	t	1.83E+01
碎石	t	1.05E+01
セメント製品	t	2.38E+02
トラック輸送	t・km	4.43E-02
バックホウ	時間	5.07E+03
油圧クレーン	時間	2.61E+03

出典：国総研資料 第 579 号 下水道における LCA 適用の考え方、2010

国総研プロジェクト研究報告 第 36 号：社会資本のライフサイクルをとおした環境評価技術の開発、2012

表 3-102 護岸工における LCCO<sub>2</sub> の試算結果（資材生産～輸送）

工程	LCCO <sub>2</sub> (kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> )
木材	68.8
金属	17.8
碎石	51.1
輸送	22.9

※ 冒頭でも述べたとおり、「木製水制工」と「コンクリート製」のもので機能付与（特に木製については自然素材・地場産素材の活用などの期待からの導入）されており、完全に一致した機能単位での LCA となっていない点に注意が必要である。

## 2) 新しい技術による木工沈床の LCCO<sub>2</sub> の試算結果

### a. 技術の概要

木製沈床とは、木製水制工の一種で、折りたたみ式にすることで現場施工時間の短縮・現場施工の容易化を図ったものである。



図 3-149 ナチュラルウッドによる施工方法  
(左上：起立→左下：設置→右上：連結→右下：中詰)

表 3-103 従来技術との比較 (400m<sup>2</sup>あたり)

	単位	新技術	従来技術	向上の程度(%)
経済性	円	6,513,970	8,025,000	18.83
工程	日	5.6	91.7	93.89

出典：国土交通省：新技術情報提供システム (New Technology Information System : NETIS)  
技術名称「ナチュラルウッド」、登録 No.CB-980003-V

表 3-104 新技術の費用の内訳

項目	仕様	数量	単位	単価	金額	摘要
ナチュラルウッド	NW-12-20-20 H=1.2m, W=2.0m, L=2.0m	100	基	59000円	5900000円	木工沈床5層相当
端部材	L=2.0m φ12.7cm	10	本	2500円	25000円	端部閉切り用・2列施工として計上(1列5本要)
油圧式クレーン	5t未満	2.2	日	32000円	70400円	作業半径を考慮して計上
普通作業員	組立・据付作業	7.3	人	17100円	124830円	
鉄線	亜鉛引き#8	100	kg	175円	17500円	本体同士の連結用
バックホウ	0.6m <sup>3</sup> 級	27.3	時間	7800円	212940円	作業半径を考慮して計上
普通作業員	中詰作業	9.54	人	17100円	163134円	
中詰材	割栗石等	339.1	m <sup>3</sup>	0円	0円	現地材利用として
諸雑費	鉄線・中詰材の合計金額に対し	1	%	166円	166円	

表 3-105 従来技術の費用の内訳

項目	仕様	数量	単位	単価	金額	摘要
型枠工	型枠工	53	人	18200円	964600円	
普通作業員	普通作業員	222	人	17100円	3796200円	
丸太	スギまたはマツ L=2.4m 末口12cm	1260	本	1901円	2395260円	方格材
丸太	スギまたはマツ L=2.3m 末口9cm	700	本	1093円	765100円	敷成木
鉄筋	L=1.45m φ=16mm	202	本	290円	58580円	
鉄筋	L=1.33m φ=16mm	100	本	266円	26600円	
鉄線	亜鉛引き#12	100	kg	185円	18500円	
玉石	径20cm内外	280	m <sup>3</sup>	0円	0円	現地材利用として
沈石	30kg以上	120	m <sup>3</sup>	0円	0円	現地材利用として
諸雑費	端数調整	1	式	160円	160円	



## b. 木工沈床の LCCO<sub>2</sub> の試算結果

原単位等の設定は前節と同じとした。なお、旧技術についてはバックホウや油圧クレーンの使用時間に関するデータが記載されていないが、トータルで数百トンにも及ぶ碎石を移動させる作業の全てを手作業で行うことは困難であり、バックホウや油圧クレーンの使用時間は碎石重量に比例すると仮定し、データが存在する新技術における使用時間を基に、旧技術における使用時間を推計した。

試算の結果、400m<sup>2</sup> の沈床で新技術の場合、80.4t-CO<sub>2</sub>(図 3-150)、従来の技術で 90.9t-CO<sub>2</sub> となった。

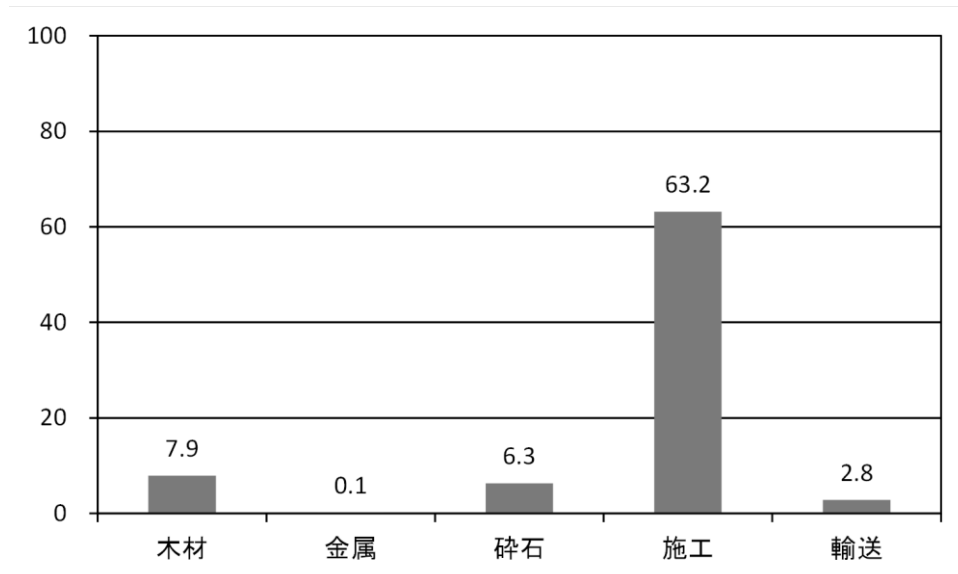


図 3-150 新技術の木工沈床における LCCO<sub>2</sub> の試算結果 (資材生産～輸送～施工)

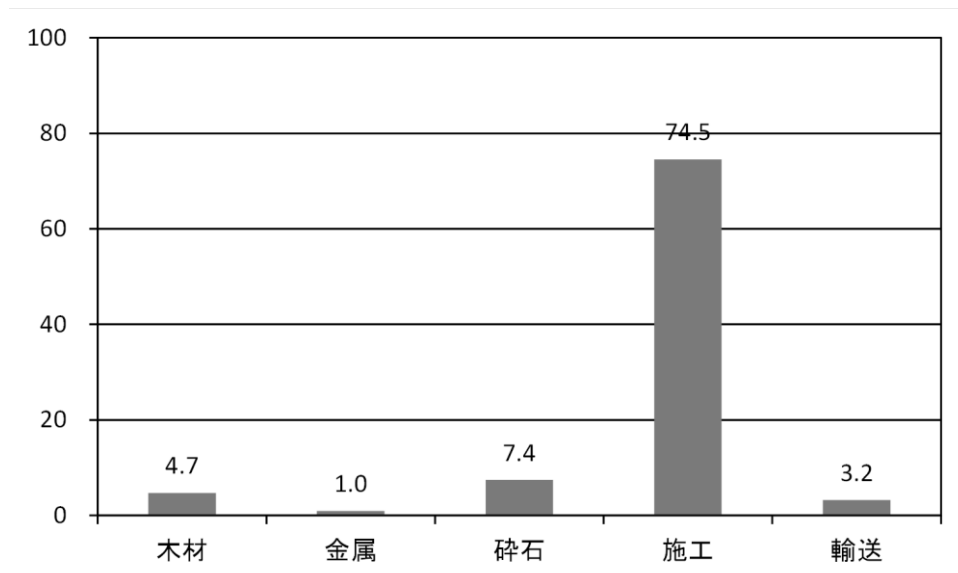


図 3-151 従来技術の木工沈床における LCCO<sub>2</sub> の試算結果 (資材生産～輸送～施工)

## (2) 既往研究における水制工に関する LCCO<sub>2</sub>

### 1) LCA の概要

水制工における既往研究では、LCA に際して以下の条件を採用しており、本件でもこれらの条件を踏まえた分析を実施した。

- 時間境界：構造物の耐用年数に準じて、供用 1 年当りの環境負荷量
- システム境界：前事業の解体～対象事業の完成までのプロセス
  - 施工プロセス
    - ・建設機械の稼働＝燃料消費による二酸化炭素
    - ・利用する建設機械の製造による二酸化炭素
  - 資材の調達プロセス
    - ・工場での資材の製造による二酸化炭素
    - ・工場から工事現場への資材の運搬による二酸化炭素
- CO<sub>2</sub>原単位：3EID のデータ

出典：国総研プロジェクト研究報告 第 36 号(平成 24 年 2 月) pp.4-112～4-120

第 4 章 社会資本 LCI の適用性検討 4-3 社会資本 LCI 試算

4-3-7 設計レベルにおける構造物の比較検討結果 「河川護岸 (その 1)」より

### 2) 直轄区間 (大河川) のケース

#### a. 工事概要

対象工事の概要は以下のとおり。

- ・一級河川の築堤護岸整備事業。当該区間の河床勾配は 1/5,000、設計図の標準横断の法勾配については、高水敷は 1:4.0 (低水敷 1:2.0)。
- ・護岸構造は環境配慮として基本的な隠し護岸と覆土形式を高水護岸部で採用し、低水護岸部は堤防の安全性に配慮して浸食・洗堀に対応しうる大型連結ブロックと根固ブロックの組合せ。大河川クラスの標準的な築堤護岸整備内容。

#### b. LCA 手法適用にあたっての特記事項

下記に示した内容を踏まえて LCA を適用した。

- ・高水護岸部の連結ブロック、高水敷及び低水護岸の連結ブロック連結ブロック、根固ブロックは全て製品指定、複数のコンクリートブロックの製造工場から調達。
- ・プレキャスト製品を使用。
- ・盛土の土砂は転用土を用いており、下流地点より、掘削・運搬。
- ・コンクリート殻は、指定工場へ運搬し、再利用用に素材化。
- ・アスファルト殻は、再資源化施設へ運搬し、再利用用に素材化。

表 3-106 工事の概要 (大川川)

項目	主な内容
施工延長	L=300m
河床勾配	I=1/5,000
撤去工	コンクリート構造物、舗装版、路盤、既設護岸
仮設	工事中用坂路、仮締切
築堤工	掘削、盛土、敷均し、埋戻し、植生工
高水護岸	大型連節ブロック
低水護岸	大型連結ブロック
根固め	ブロック工(2t型)
道路工	天端道路工、砕石道路工

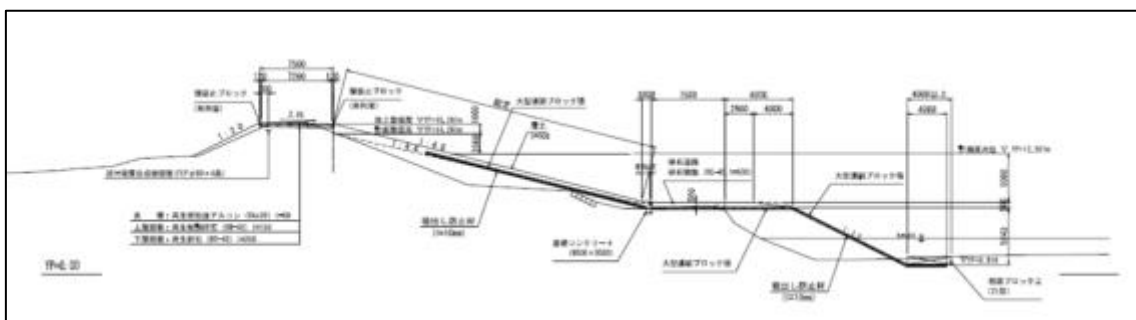


図 3-152 標準断面図 (大川川)

### c. 試算結果の概要

コンクリート造の護岸として耐用年数が一律 30 年と比較的長寿命であるため、供用 1 年間あたりの二酸化炭素排出量は、53.24t-CO<sub>2</sub>/年となった。

内訳を見ると、資材製造に関わる二酸化炭素排出量が多く、8 割近くを占め、ついで機械稼働、資材運搬がそれぞれ 1 割程度、建設機械の機械製造分は 2%と寄与度は小さい。

また、二酸化炭素排出源の多くは護岸工のコンクリートブロックや根固の製造に関するものであり、このような大型のコンクリート製品の設置に使用するラフテレーンクレーンの稼働によっても二酸化炭素排出量が増加することが分かった。

本試算では、仮設工で工事中用道路や仮締切工に敷鉄板や鋼矢板を利用しているが、利用期間が短く繰り返し利用するため仮設工による二酸化炭素排出量は 6%と低く抑えられている。更に、盛土に利用した土砂を下流河川の掘削土砂を流用したことで、土砂資材の調達に関わる二酸化炭素排出量が抑制された。

表 3-107 LCCO<sub>2</sub>の試算結果（大河川）

工種	種別	建設機械		資材		工種計[A]	耐用年数[B]	CO2排出量/年		備考
		稼働	製造(利用分)	製造	運搬			[A]/[B]	[A]/[B]	
撤去工	構造物取壊し工	2.44	0.45		0.61	3.50	30	0.12	0.22%	コンクリートブロック造の護岸及び根固耐用年数30年 注) 人力施工で調達資材がないまたは資材が算定不可だった工種は0t-CO2となる。
仮設工	工事用道路	1.08	0.20	3.55	6.02	10.85	30	0.36	0.68%	
	仮締切工	15.71	4.64	60.23	8.13	88.71	30	2.96	5.55%	
築堤工	掘削工	0.28	0.06			0.34	30	0.01	0.02%	
	表土剥	6.82	0.91			7.73	30	0.26	0.48%	
	盛土工	11.83	2.02		96.02	109.87	30	3.66	6.88%	
	敷均し	10.00	1.08			11.08	30	0.37	0.69%	
	覆土	4.51	0.84			5.35	30	0.18	0.33%	
	作業土木	2.65	0.49			3.14	30	0.10	0.20%	
	法面整形工	21.16	3.96			25.12	30	0.84	1.57%	
	植生工			3.24		3.24	30	0.11	0.20%	
	基面整正						30			
	平場						30			
護岸工	築立土羽	11.68	2.19			13.87	30	0.46	0.87%	
	低水護岸工	26.31	4.38	256.11	8.48	295.28	30	9.84	18.49%	
	高水敷保護工	25.28	4.21	245.23	8.14	282.86	30	9.43	17.71%	
	高水護岸工	40.94	6.81	377.20	12.48	437.43	30	14.58	27.39%	
	吸出防止工			15.33	0.04	15.37	30	0.51	0.96%	
	基礎工			0.72	0.02	0.74	30	0.02	0.05%	
	根固工	8.45	1.40	193.65	6.39	209.89	30	7.00	13.14%	
	調整コンクリート			5.09	0.04	5.13	30	0.17	0.32%	
	天端道路工	舗装工	1.04	0.33	18.95	8.84	29.16	30	0.97	1.83%
		付帯工			8.77	0.26	9.03	30	0.30	0.57%
碎石道路工	舗装工	0.83	0.26	10.81	10.95	22.85	30	0.76	1.43%	
	付帯工			6.47	0.26	6.73	30	0.22	0.42%	
総計		191.01	34.23	1205.35	166.68	1597.27		53.24		
		12.0%	2.1%	75.5%	10.4%	t-CO2/年		t-CO2/年		

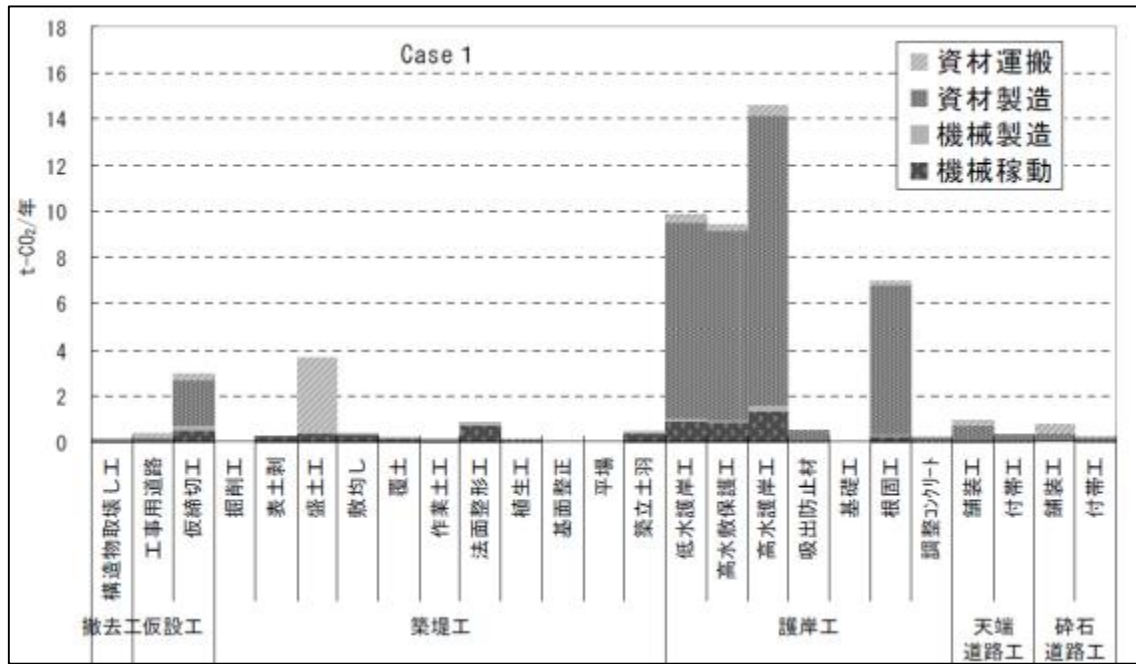


図 3-153 LCCO<sub>2</sub>の試算結果（大河川）

### 3) 県管理区間（中小河川）のケース 1

#### a. 工事概要

対象工事の概要は以下のとおり。

- ・豪雨による破堤部分を含む災害復旧助成事業（計画高水流量 1,800 m<sup>3</sup>/s）による築堤護岸整備。河床勾配は 1/736、設計図の標準横断の法勾配の高水・低水ともに 1:2.0。
- ・浸透に対する安全性を確保するため、基盤漏水対策として川表遮水矢板工法、堤体漏水対策として粘性土による断面拡幅工法を採用。
- ・高水敷の利用や環境保全に配慮して、高水護岸部には隠し護岸と覆土形式を採用。
- ・低水護岸部は、現況滲筋の再現や水生動物の生息環境保全に配慮し、自然石固着網護岸と栗石粗朶工の多自然・伝統的工法を採用。

#### b. LCA 手法にあたっての特記事項

下記に示した内容を踏まえて LCA を適用した。

- ・通常の築堤工に加えて高水敷部の粘性土置換や基礎工で鋼矢板を堤体下に全損する等、堤防部の補強対策を実施。
- ・低水護岸部に複数の多自然工法を採用。
- ・コンクリートブロック等の製品指定はなし。

表 3-108 工事の概要（中小河川 1）

項目	主な内容
施工延長	L=305.5m
河床勾配	I=1/736
撤去工	既設コンクリート、既設アスファルト
仮設	工事用道路
築堤工	掘削、盛土、埋戻、残土処分
高水護岸	連節ブロック、基礎工（鋼矢版）
低水護岸	自然石固着金網、玉石粗朶工
根固め	捨石工

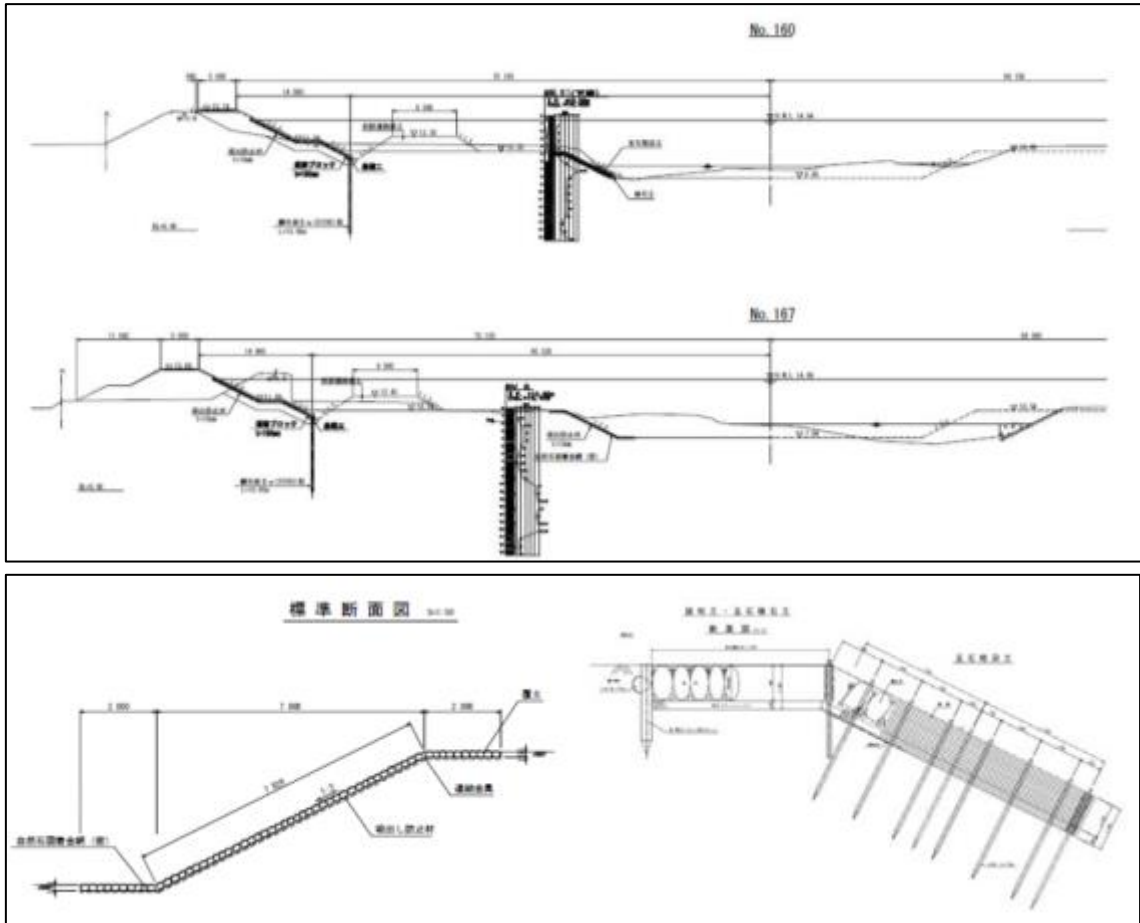


図 3-154 標準断面図（中小河川 1）

### c. 試算結果の概要

高水敷部はコンクリート造の護岸で耐用年数が 30 年であるが、低水敷部は粗朶等を利用した木造で耐用年数が 10 年であり、供用 1 年あたりの二酸化炭素排出量は  $69.69\text{t-CO}_2/\text{年}$  となった。

内訳を見ると、資材製造に関わる二酸化炭素排出量が多く 6 割を占め、ついで資材運搬が 26%、建設機械の稼働が 10%、建設機械の機械製造分は 2% である。二酸化炭素排出源の多くは盛土の土砂に用いた購入土の製造と運搬、残土の処分に起因している（本事例が災害復旧助成事業であり堤防強化のために盛土に大量の土量を必要とした点や粘性土を用いたことによる）。

高水敷部の基礎工に鋼矢版を全損で設置しており、鋼矢版の利用により二酸化炭素排出量が増加しているが、一方の低水護岸については、粗朶や捨石などの多自然工法を利用しており、建設機械の稼働も少ないことから二酸化炭素排出量が少なく、全体の 7% 程度に留まった。

表 3-109 LCCO<sub>2</sub>の試算結果（中小河川1）

工種	種別	建設機械		資材		工種計[A]	耐用年数[B]	CO2排出量/年		備考
		稼働	製造(利用分)	製造	運搬			[A]/[B]	[B]	
撤去工(高水敷)	既設CO撤去	0.92	0.17		4.32	5.41	30	0.18	0.26%	高水敷: コンクリートブロック造の護岸耐用年数30年  低水敷: 木造(粗朶)護岸耐用年数10年  注)人力施工で調達資材がないまたは資材が算定不可だった工種は0t-CO2
	既設AS撤去	0.02	0.00		0.17	0.19	30	0.01	0.01%	
仮設工	盛土・撤去	5.91	1.07	45.08	49.85	101.91	30	3.40	4.87%	
	天端碎石	0.46	0.15	2.39	3.64	6.64	30	0.22	0.32%	
土工(高水敷)	高水敷盛土	0.01	0.00	469.34	39.37	508.72	30	16.96	24.33%	
	機械掘削	8.52	1.71			10.23	30	0.34	0.49%	
	床堀	2.54	0.47			3.01	30	0.10	0.14%	
	埋戻C	1.25	0.21			1.46	30	0.05	0.07%	
	覆土	1.03	0.19			1.22	30	0.04	0.06%	
	粘性土置換	2.95	0.46			3.41	30	0.11	0.16%	
	堤体盛土	8.12	1.64			9.76	30	0.33	0.47%	
	掘削(高水敷)	4.59	0.92			5.51	30	0.18	0.26%	
	基面整正						30			
	盛土法面整形	1.74	0.33			2.07	30	0.07	0.10%	
	切土法面整形	3.65	0.68			4.33	30	0.14	0.21%	
	張芝						30			
	残土処分				30.05	30.05	30	1.00	1.44%	
護岸工(高水敷)	連節ブロック	26.35	4.38	236.81	6.14	273.68	30	9.12	13.09%	
	基礎工	6.65	1.97	452.05	2.14	462.81	30	15.43	22.14%	
土工(低水敷)	掘削(低水敷)	21.21	4.25			25.46	10	2.55	3.65%	
	盛土(低水敷)	1.15	0.23			1.38	10	0.14	0.20%	
	埋戻C	0.05	0.01			0.06	10	0.01	0.01%	
	盛土法面整形	0.35	0.07			0.42	10	0.04	0.06%	
	切土法面整形	2.83	0.53			3.36	10	0.34	0.48%	
	基面整正						10			
	残土処分				129.97	129.97	10	13.00	18.65%	
護岸工(低水)	捨石	0.35	0.05	1.79	0.37	2.56	10	0.26	0.37%	
	玉石植石工			6.28	1.07	7.35	10	0.74	1.05%	
	玉石粗朶工			5.43	1.64	7.07	10	0.71	1.01%	
	自然石護岸(密)	17.00	2.83	20.07	2.27	42.17	10	4.22	6.05%	
	詰杭工			0.28	0.01	0.29	10	0.03	0.04%	
総計		117.65	22.32	1239.52	271.01	1650.50		69.69		
		7.1%	1.4%	75.1%	16.4%	t-CO2/年		t-CO2/年		

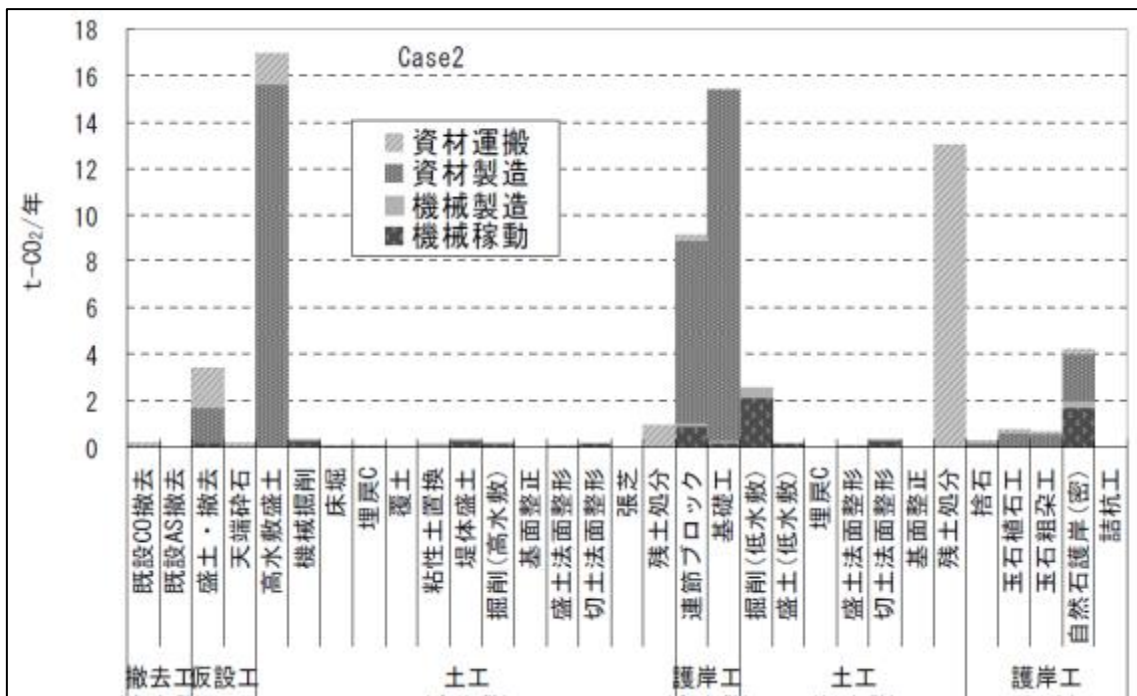


図 3-155 LCCO<sub>2</sub>の試算結果（中小河川1）

#### 4) 県管理区間（中小河川）のケース 2

##### a. 工事概要

対象工事の概要は以下のとおり。

- ・対象区間は狭窄部で河床勾配は 1/65、設計図標準断面の法勾配は 1 : 0.5。
- ・自然環境、景観、水辺利用などに配慮した整備を実施。工種は多自然川づくりを基本として自然空石積みや魚巣ブロック、木工沈床など、多様な多自然・伝統的工法が採用。

b. LCA 手法適用にあたっての特記事項

下記に示した内容を踏まえて LCA を適用した。

- ・低水護岸部に複数の多自然工法を採用。
- ・コンクリートブロック等の製品指定なし。

表 3-110 工事の概要 (中小河川 2)

項目	主な内容
施工延長	L=300m
河床勾配	I=1/65
仮設工	土堰堤仮設道路、仮水路
土工	床堀、盛土、埋戻、残土処分
低水護岸	アンカー式自然石積み、魚巣ブロック、天端ブロック、間知ブロック
根固め	木工沈床、既存ブロック工(2t型)転用
舗装工	表面舗装工

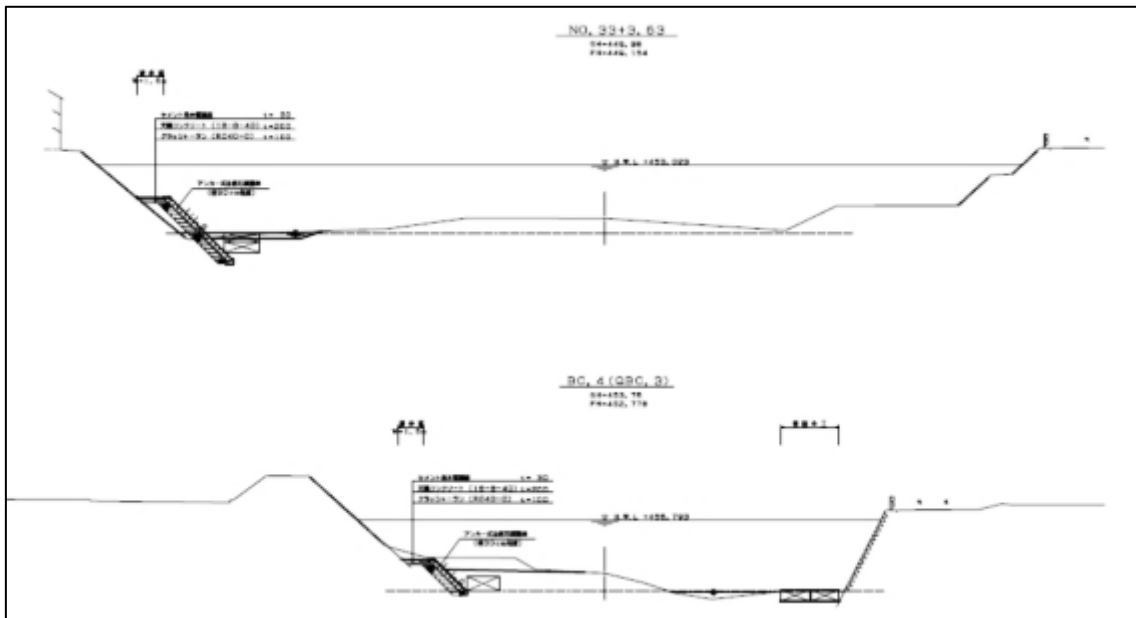


図 3-156 標準断面図 (中小河川 2)

c. 試算結果の概要

護岸はアンカー式自然石積みの石造護岸のため、耐用年数が 50 年であるが、低水部分



は木工沈床を利用した木造で耐用年数が10年である。供用1年あたりの二酸化炭素排出量は8.67t-CO<sub>2</sub>/年となった。

内訳を見ると、資材製造に関わる二酸化炭素排出量が多く8割を占め、次いで資材運搬が17%、建設機械の稼働が4%、建設機械の機械製造分は0.7%となっている。多自然工法を多用したため建設機械の稼働もほとんどないことから、他の2事例と比較して二酸化炭素排出量は小さい結果となった（主な二酸化炭素排出源は、木工沈床根固のコンクリート土台部や投入する栗石・砕石、護岸の裏込材の砕石等）。

全体の二酸化炭素排出量が少ないため、仮設工（工事用道路、仮水路）の割合が10%程度と高くなった。

表 3-111 LCCO<sub>2</sub>の試算結果（中小河川2）

工種	種別	建設機械		資材		工種計[A]	耐用年数[B]	CO2排出量/年		備考
		稼働	製造(利用分)	製造	運搬			[A]/[B]	[A]/[B]	
仮締切	土堰堤仮設道路	1.70	0.31	13.45	17.78	33.24	50	0.66	7.67%	護岸部分： 石造の護岸 耐用年数10年  注)人力施工で 調達資材がない または資材が算 定不可だった工 種は0t-CO2とな る。
	仮水路	0.22	0.04	10.59	0.09	10.94	50	0.22	2.52%	
築堤工	床堀	6.76	1.24			8.00	50	0.16	1.85%	
	盛土工	0.02	0.02			0.04	50	0.00	0.01%	
	埋戻	1.87	0.30			2.17	50	0.04	0.50%	
	残土処分				22.17	22.17	50	0.44	5.12%	
	基面整正						50			
	切土法面整形	2.31	0.43			2.74	50	0.05	0.63%	
護岸工	盛土法面整形	0.23	0.04			0.27	50	0.01	0.06%	
	アンカー式自然石積み	0.10	0.02	9.03	1.91	11.06	50	0.22	2.55%	
	魚巢ブロック			2.02	0.06	2.08	50	0.04	0.48%	
	魚巢天端ブロック			0.37	0.01	0.38	50	0.01	0.09%	
	間知式ブロック			1.46	0.05	1.51	50	0.03	0.35%	
	吸出防止材設置工			1.91	0.00	1.91	50	0.04	0.44%	
	裏込材料投入工			38.67	9.40	48.07	50	0.96	11.09%	
	裏込コンクリート打設工			1.47	0.06	1.53	50	0.03	0.35%	
根固工	現場打基礎工			6.48	0.28	6.76	50	0.14	1.56%	
	現場打天端工			25.26	1.10	26.36	50	0.53	6.08%	
	既設根固ブロック撤去	0.38	0.06			0.44	10	0.04	0.51%	
	根固ブロック据付工	0.43	0.07			0.50	10	0.05	0.58%	
小口止工	木工沈床根固据付			43.72	4.09	47.81	10	4.78	55.16%	
	基面整正工						10			
舗装工	小口止工			0.85	0.04	0.89	50	0.02	0.21%	
	表面舗装工			9.15	0.34	9.49	50	0.19	2.19%	
	総計	14.02	2.53	164.43	57.38	238.36		8.67		
		59.0%	11.0%	69.0%	24.1%	t-CO2/年		t-CO2/年		

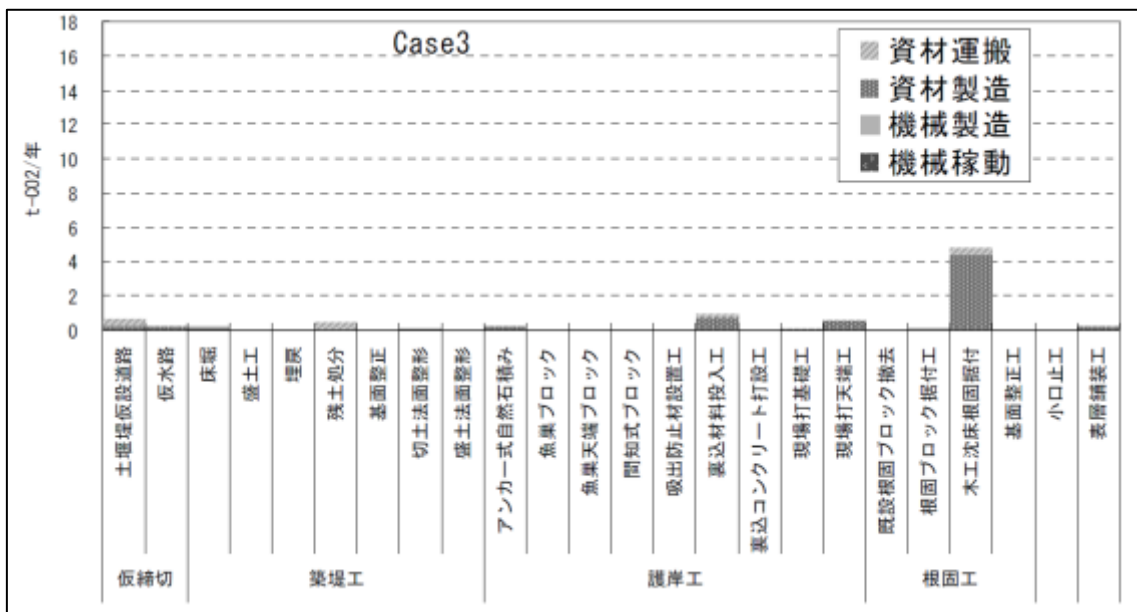


図 3-157 LCCO<sub>2</sub>の試算結果（中小河川2）

### (3) 木製水制工に関する木材使用量

ここでは木製水制工のうち標準的な施工方法等が確立している「杭柵工」「聖牛」「蛇籠」について用いられている木材の使用量を示す。

#### 1) 杭柵工

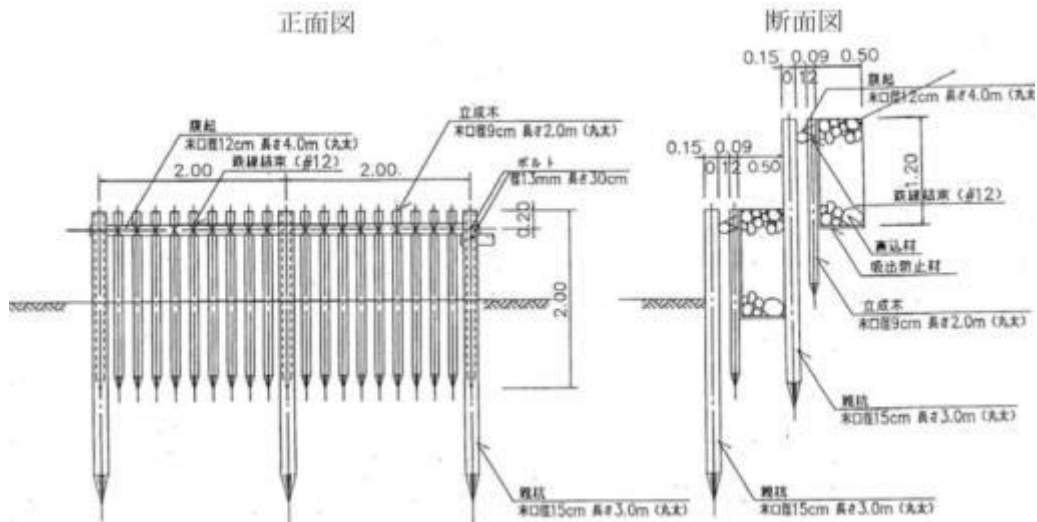


図 3-158 杭柵工の正面図および断面図

表 3-112 杭柵工における木材利用量（10m あたり）の例

名称	規格	本数(本)	数量(m <sup>3</sup> )
親杭	径15cm 長さ3.0m	5.00	0.340
腹起	径12cm 長さ4.0m	2.50	0.145
立成木	径9cm 長さ2.0m	50.00	0.800
吸い出し防止材			18.20
裏込材			6.00

出典：土木用木材木製品設計マニュアル，北海道(平成 22 年 11 月改定)

#### 2) 聖牛



図 3-159 国土交通省甲府河川国道事務所が笛吹川に設置した聖牛（平成 18 年 4 月）

出典：<http://www.mmdb.net/usr/digiken/seigyū/page/A0001.html>

表 3-113 中聖牛における木材利用量の例

長さ	直径	本数	全体積(m <sup>3</sup> )	備考
7.3	0.12	3	0.248	棟木1、桁木2
4.5	0.12	5	0.254	前合掌木2、梁木1
4.5	0.09	1	0.029	砂払木
3.6	0.09	12	0.275	棚敷木10、前立木2
3.6	0.12	2	0.081	中合掌木2
2.7	0.12	2	0.061	後合掌木2
小計			0.948	

出典：河川伝統技術の導入方策・手引き（案）：国土交通省 四国地方整備局四国技術事務所

### 3) 蛇籠

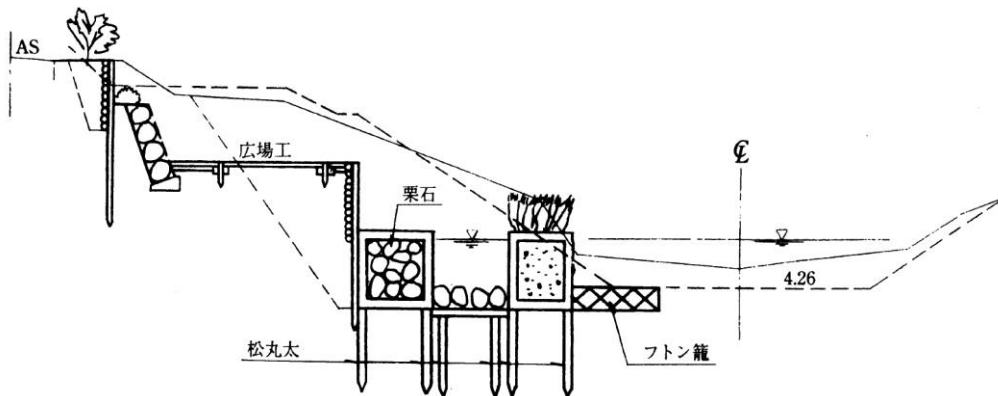


図 3-160 木材と蛇籠を使った護岸工法  
 (出典 富野章、多自然型水辺空間の創造、信山社、2001)

表 3-114 蛇籠における木材利用量の例

長さ	直径	本数	全体積(m <sup>3</sup> )	備考
4.5	0.45	8	5.723	重籠
3.6	0.45	3	1.717	尻籠
小計			7.439	

出典：河川伝統技術の導入方策・手引き（案）：国土交通省 四国地方整備局四国技術事務所

#### (4) 木製水制工に関する分析結果の解釈について

「水制工」を木質化した場合を、コンクリート製のものと同一の機能単位と仮定して LCA を行った。ただし、検討の過程において、「木製水制工」と「コンクリート製」のもので機能付与（特に木製については自然素材・地場産素材の活用などの期待からの導入）されており、完全に一致した機能単位での LCA となっていない点に注意が必要である。

### 3.2.6 ウッドチップ舗装道路のCO<sub>2</sub>排出量に関する調査

歩行者用道路を対象に、ウッドチップ舗装道路のライフサイクルCO<sub>2</sub>排出量を評価し、アスファルト舗装道路やコンクリート舗装道路との比較を行った。

標準工事仕様、各種原料の消費量データ等の条件設定にあたり、実際の工事事例として岩手県大槌町の仮設住宅団地に隣接する商店街に施工されたウッドチップ舗装道路に着目し、工事関係者へのヒアリング調査および消費エネルギーの計量等を通じてデータを収集した。

なお、大槌町でのウッドチップ舗装道路の工事事例では、原料として東日本大震災時の塩害木および地域産木材の製材端材を破碎して利用しているが、本試算においては一般化を図るため、塩害木ではなく一般的な原木を想定してCO<sub>2</sub>排出量を試算した。

#### (1) ライフサイクルフロー図

ウッドチップ舗装道路のライフサイクルフロー図および試算の前提条件を以下に示す。



表 3-115 試算の前提条件

ライフサイクル	項目	設定条件
原料調達	利用する原材料の種類	スギ丸太（φ12cm、長さ4m）+製材端材
	木材以外に用いる資材	接着剤（ウレタン樹脂系）
生産	加工処理（切削、乾燥、防腐処理等）及び燃料等のエネルギー消費量等	加工：チップパーによるチップ加工 乾燥：特になし 防腐処理：特になし
輸送	輸送	塩害木の輸送（伐採現場～チップ化現場）、チップの輸送（チップ化現場～施工現場）ともに2tトラックを利用
建設	舗装工事	ミキサー（電気）、転圧機（電気）、重機（軽油）を使用
維持・管理	維持管理による資材・エネルギー投入量、頻度	特になし
解体・廃棄	解体・廃棄方法	重機等による解体を想定（解体工事・廃棄のCO <sub>2</sub> 排出量や、廃材のエネルギー利用はシステム境界外とした）
	耐用年数	事業者ヒアリングを基に10年間と想定 <sup>10</sup>
その他	比較対象となる工法等	アスファルト舗装道路（耐用年数10年）、コンクリート舗装道路（耐用年数20年）

<sup>10</sup>大槌町の事例では仮設住宅の使用年数（5年間程度）とともにウッドチップ舗装も取り壊される予定であるが、事業者へのヒアリングによると、一般的なウッドチップ舗装道路の耐用年数は10年程度

(2) 標準工事仕様の設定および原料・燃料等の消費量の算定

LCA 比較時の前提条件を統一するために標準工事モデル（標準仕様、資材利用量等）を設定した。歩行者用道路については標準工事モデル等が確立されておらず、事例（大槌町における工事事例）を基に、施工事業者等へのヒアリングを通じて工事仕様および原料・燃料等の条件を設定した。

表 3-116 原料・燃料等の消費量

原料・燃料等の消費量		単位	数量	備考
舗装面積		m <sup>2</sup>	110	チップ体積で 6.2 m <sup>3</sup>
チップ製造時の エネルギー消費量	軽油消費量	L	11	チップパー
	丸太・製材端材消費量	m <sup>3</sup>	6.5	スギ丸太 (400kg/m <sup>3</sup> で換算) 丸太 2.0m <sup>3</sup> 、製材端材 4.5m <sup>3</sup>
	原木丸太移動距離	km	0.5	輸送手段：2tトラック
	チップ移動距離	km	11.3	輸送手段：2tトラック 2台
チップ舗装の材料 使用量	木材チップ（丸太、 端材）消費量	kg	2,480	丸太・端材を区別せず
	接着剤消費量	kg	702	ウレタン樹脂系接着剤
チップ舗装施工時 のエネルギー消費 量	電気消費量 （ミキサー）	kWh	20	ハンディミキサー 2台
	電気消費量 （転圧機）	kWh	62	
	軽油消費量 （パワーショベル）	L	20	敷設路面掘削及び駐車場砕石敷 均しに使用

### (3) インベントリデータの収集

CFP データベースや各種公表情報等を基に温室効果ガスインベントリデータを収集した。

表 3-117 各種インベントリデータ

名称	数値	単位	システム境界	出典
すぎ丸太の生産	11.6	kg-CO <sub>2</sub> eq/m <sup>3</sup>	育林→伐採→ 輸送	CFP データベース“林業”_“ すぎ(丸太)”
軽油の製造	0.152	kg-CO <sub>2</sub> eq/L	原油採取→分 留→石油精製	CFP データベース“石油製 品・石炭製品”_“軽油”
軽油の燃焼	2.585	kg-CO <sub>2</sub> eq/L	燃焼	環境省・経済産業省, 温室効 果ガス排出量算定・報告マニ ュアル(Ver 3.2)
電力(東北電力)	0.546	kg-CO <sub>2</sub> eq/kWh	各燃料の燃焼	環境省, 平成23年度の電 気事業者ごとの実排出係 数・調整後排出係数等
2tトラックの輸送	0.29	kg-CO <sub>2</sub> eq/t/km	燃料製造→ト ラック輸送の サービス	CFP データベース“道路貨物 運送業”_“トラック輸送(2 トン車:積載率100%)”
4tトラックの輸送	0.185	kg-CO <sub>2</sub> eq/t/km	燃料製造→ト ラック輸送の サービス	CFP データベース“道路貨物 運送業”_“トラック輸送(4 トン車:積載率100%)”
接着剤の製造 ※1	4.12	kg-CO <sub>2</sub> eq/kg	原料採取→素 材製造→製造	CFP データベース“プラスチ ック製品”_“ポリウレタン”

※1: ウレタン樹脂系接着剤を用いているが、該当するインベントリデータが存在しなかつたため、各成分のインベントリデータ(CFP等)およびメーカーヒアリングを通じてインベントリデータを作成した。

プロセス	成分 ※ ()内は一般名称	各成分の CO <sub>2</sub> 排出量 kg-CO <sub>2</sub> e/kg	成分 比率	CO <sub>2</sub> 排出量 kg-CO <sub>2</sub> e/kg	出典
原料採取 ～ 素材製造	NCO末端ウレタンプレポリマー (ポリエーテルポリオール)	4.26	75%	3.20	CFP データベース
	4-4'-ジフェニルメンジイソシアネート (メチレンジフェニルジイソシアネート)	2.95	20%	0.59	MiLCA
	トルエンジイソシアネート (トリレンジイソシアネート)	3.50	2%	0.07	CFP データベース
	トルエン	1.86	1%	0.02	CFP データベース
	小計		-	3.87	-
製造	工場でのCO <sub>2</sub> 排出量			0.25	M社ヒアリング
計				4.12	-

#### (4) LCA 比較の実施

原料・燃料等の消費量に、各種インベントリデータを乗じて CO<sub>2</sub> 排出量を算出した。

なお、比較対象のアスファルト舗装、コンクリート舗装については、岩谷らの研究成果(『各種舗装材料を用いた道路舗装の環境負荷』、コンクリート工学年次論文集、Vol.31、No.2、2009)を引用し、アスファルト舗装道路 2,391kg-CO<sub>2</sub>/100 m<sup>2</sup>、コンクリート舗装道路 6,073 kg-CO<sub>2</sub>/100 m<sup>2</sup>とした(システム境界は材料製造～材料輸送～施工で、ウッドチップ舗装道路と共通)(自動車交通量の最も少ない区分の舗装道路を対象)。

CO<sub>2</sub> 排出量はアスファルト舗装<ウッドチップ舗装道路<コンクリート舗装の順に大きくなる結果となった。ウッドチップ舗装道路の CO<sub>2</sub> 排出量のうち、98%が接着剤製造に関するものであり、より CO<sub>2</sub> 排出量の少ない接着剤の利用や、接着剤使用量を削減可能な工法の開発が期待される。

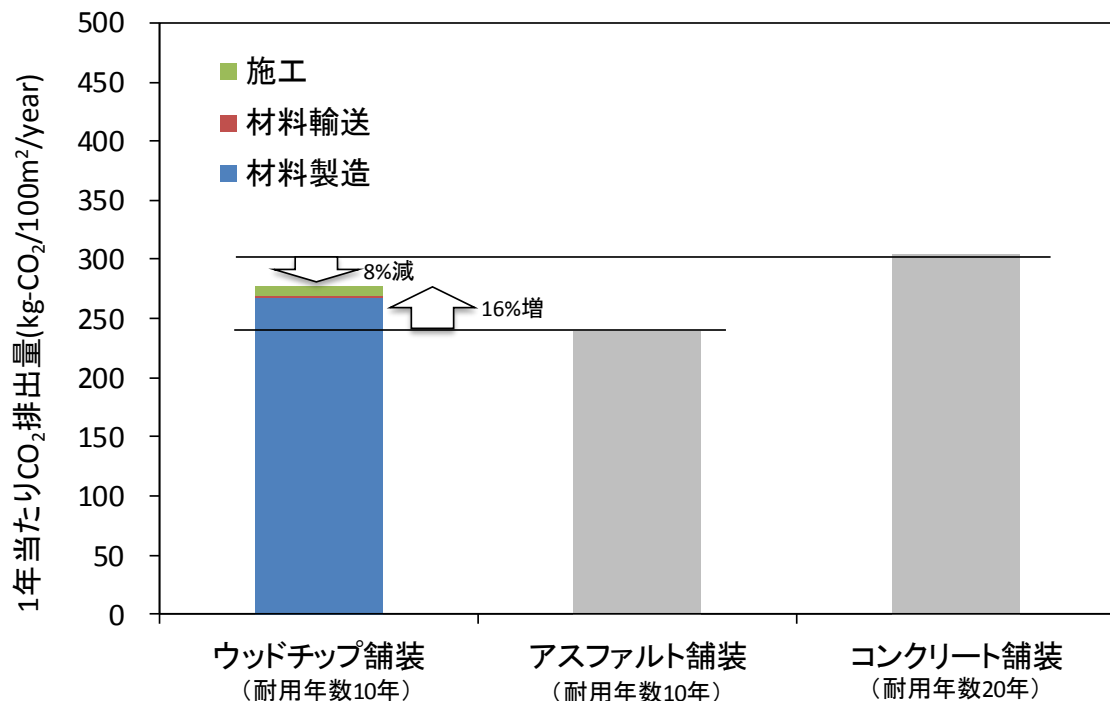


図 3-161 各種道路の LCCO<sub>2</sub> 排出量の比較結果



### 3.2.7 土木分野における木材の普及ポテンシャル推計

#### (1) 丸太打設の木材利用量の推計値

##### 1) 丸太打設における木材利用量の推計の考え方

大型地震が発生すると、埋立地等の軟弱地盤を中心に液状化現象が発生し、多くの建物が被害を受ける。液状化被害の想定される地域では、丸太打設の需要が存在すると考えられる。ここでは、表層地盤増幅率を指標として、液状化被害を受ける地域を想定し、丸太打設に要する木材需要を推計する。

##### 2) 丸太打設における木材利用量の推計

丸太打設による木材利用量は、以下の推計式に基づき推定した。

$$\begin{aligned} \text{木材利用量 (m}^3\text{/年)} = & \\ & \text{液状化被害を受ける住宅数 (棟)} \\ & \times 1 \text{ 年間に建て替えが必要な建物割合 (/年)} \\ & \times 1 \text{ 住宅あたり敷地面積 (m}^2\text{/棟)} \\ & \times \text{木材利用量原単位 (m}^3\text{/ m}^2\text{)} \\ & \times \text{普及率} \end{aligned}$$

##### a. 液状化被害を受ける住宅数 (棟)

液状化被害を受ける地域に居住する世帯数をもって、住宅数と仮定する。

防災科学技術研究所では、地盤の固さと人口分布を重ね合わせた分析が行われた。地盤が軟らかいと、地震による揺れが増幅しやすく、液状化被害が起きやすい。本研究では、地震による揺れやすさの指標として、表層地盤増幅率が用いられている。

表層地盤増幅率とは、地下を伝わってくる地震波が深さ 30 m の地盤で何倍に拡大するかを示した数値である。地震の揺れの大きさは、地震の規模、震源からの距離、地盤の強さに左右される。表層地盤増幅率の数値が高いほど、揺れやすい軟弱な地盤といえる。

本研究によると、表層地盤増幅率が 2.0 以上 (特に揺れやすい) の地域に居住している人口は、約 2,200 万人 (全国の人口の約 17%) であった。平成 24 年度国民生活基礎調査によると、平均世帯人員は、2.57 人であるから、世帯数に直すと、約 909 万世帯である。すなわち、液状化被害を受ける住宅数は、約 909 万棟と算定される。

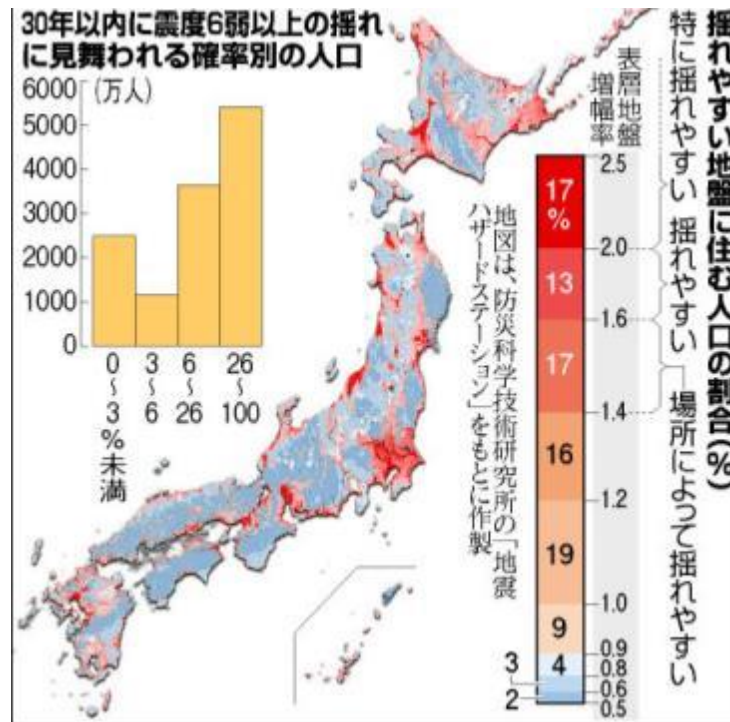


図 3-162 揺れやすい地盤に居住する人口の割合

出所)「軟弱地盤に3800万人居住 巨大地震で甚大被害の恐れ」(朝日新聞 2012年10月6日)  
<http://www.asahi.com/special/bousai/TKY201210060266.html>

b. 1年間に建て替える必要がある建物割合 (/年)

丸太の打設は建物の建て替え時に行われると考えられる。小松幸夫「建物の平均寿命実態調査」によると、RC系住宅の寿命は68年と言われているため、この逆数を取り、液化による想定建物被害棟数(全壊)のうち年間1/68の割合(1.47%)だけ建て替えを行うと仮定する。

c. 1住宅あたり敷地面積 (m<sup>2</sup>/棟)

平成25年度住宅・土地統計調査によると、1住宅当たり敷地面積は262.09m<sup>2</sup>である。

d. 木材利用量原単位 (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>)

丸太打設の標準工事仕様では、地盤改良面積500m<sup>2</sup>に対し、木材利用量が586m<sup>3</sup>である。一方、金沢市工事仕様では、地盤改良面積225.4m<sup>2</sup>に対し、木材利用量が58.4m<sup>3</sup>である。そこで、586m<sup>3</sup>/500m<sup>2</sup>及び58.4m<sup>3</sup>/225.4m<sup>2</sup>木材利用量原単位として用いる。

### 3) データのまとめ

データ項目	データの詳細	出所
液状化被害を受ける住宅数(棟)	表層地盤増幅率が2.0以上の地域に居住している世帯数(住宅数): 909万世帯(棟)  ※表層地盤増幅率が2.0以上の地域に居住している人口: 約2,200万人(全国の人口の約17%)  ※平均世帯人員: 2.57人/世帯	【データ】 防災科学技術研究所「地震ハザードステーションJ-SHIS」  「軟弱地盤に3800万人居住 巨大地震で甚大被害の恐れ」(朝日新聞 2012年10月6日)  厚生労働省「平成24年度国民生活基礎調査」
1年間に建て替えが必要な建物割合(/年)	建て替えが必要な建物割合: 1/68(/年)(1.47%)  ※RC系住宅の寿命:68年	【データ】 小松幸夫「建物の平均寿命実態調査」
1住宅あたり敷地面積(m <sup>2</sup> /棟)	1住宅あたり敷地面積: 260.09m <sup>2</sup> /棟	【データ】 総務省統計局「平成25年住宅・土地統計調査」 住宅の所有の関係(5区分), 建て方(2区分), 敷地面積(11区分)別一戸建及び長屋建の住宅数—全国
木材利用原単位(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	丸太打設における地盤改良面積あたりの木材利用量: 586m <sup>3</sup> /500m <sup>2</sup> (標準工事仕様)  58.4m <sup>3</sup> /225.4m <sup>2</sup> (金沢市工事仕様)	【データ設定の根拠】 加用、橋本、沼田「Reductions in greenhouse gas emissions by using wood to protect against soil liquefaction」Journal of Wood Science, 2011年6月)、有識者ヒアリング等  【データ】 飛島建設株式会社「LP-LiC工法による二酸化炭素貯蔵量」
普及率	1%, 5%, 10%で算出	—

#### 4) 推計結果

分類	液状化被害を受ける住宅数(世帯)	1年間に建て替えが必要な建物割合(/年)	1住宅あたり敷地面積(m <sup>2</sup> /棟)	木材利用原単位(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	普及率	木材利用量(m <sup>3</sup> /年)			
標準 工事仕様	9,090,000	1/68(1.47%)	260.09	586/500	1%	407,000			
					5%	2,040,000			
					10%	4,070,000			
金沢市 工事仕様				9,090,000	1/68(1.47%)	260.09	58.4/225.4	1%	90,100
								5%	450,000
								10%	901,000

## (2) 木製遮音壁の工事可能性に関する推定値

### 1) 高規格幹線道路における遮音壁設置実績値＋推計値について

各社公表値に基づく積算では、約3,148km（一部推計含む）が遮音壁導入済み総延長となる。

表 3-118 高規格幹線道路各社のデータ

	道路延長 (開業済み)	遮音壁設置実績 (設置延長)	割合	割合 (平均)
NEXCO 東日本	3,733km	約 1,000km	26.8%	32.6%
NEXCO 中日本	1,949km	907km	46.5%	
NEXCO 西日本	3,375km	1,047km	31.0%	
首都高速道路	322km	公表値なし	※上記平均値で試算すると 194km	
阪神高速道路	273km	公表値なし		
総合計	9,652km	※3,148km		

### 2) 国土交通省における高規格幹線道路の整備計画との関係について

前述の環境省における国内の設置延長（非木材）は約 4,300km（平成 10 年度末）とされる。

国土交通省における高規格幹線道路の全体構想によると、高規格幹線道路（高速自動車国道及び一般国道自動車専用道路）は約 14,000km（達成年次は未公表）とされ、そのうちの約 7 割（9,855km）が共用済み。

一方で、残りの約 4,145km については現在工事中～今後工事が行われる見込みである。上記の導入割合（32.6%）を用いると約 1,351km が高規格幹線道路における遮音壁導入ポテンシャルと推計される。

以上の内容と、高規格幹線道路の各社における導入実績合計（非木材）が約 200km/年、木材利用推進状況資料（国土交通省道路局）における平成 22 年度～平成 23 年度における木製遮音壁設置実績の 1km/年、km あたりの木材利用量を約 102 m<sup>3</sup>とすると、

年間の遮音壁（木製）施工

1) 約 1%（現状の 2 倍）つまり 2km/年の場合、約 204 m<sup>3</sup>/年

2) 約 5%、つまり 10km/年の場合、約 1,020 m<sup>3</sup>/年

3) 約 10%、つまり 20km/年の場合、約 2,040 m<sup>3</sup>/年

### 3) 木製遮音壁における木材利用量の推計の考え方

国土交通省及び高規格幹線道路を所管する各社の公表値に基づき、遮音壁設置実績値を求めて推計する。道路の速度規制、騒音の状況等を考慮し、導入されると考えられる。

### 4) 木製遮音壁における木材利用量の推計

木製遮音壁における木材利用量は、以下の推計式で求められると考えられる。

$$\begin{aligned} \text{木材利用量 (m}^3\text{/年)} = & \\ & \text{年間遮音壁導入実績 (km/年)} \\ & \times \text{木材利用量原単位 (m}^3\text{/km)} \\ & \times \text{普及率} \end{aligned}$$

#### a. 年間遮音壁導入実績 (km/年)

国土交通省ホームページ「道路整備五箇年計画の進捗状況と今後の取り組み方針」によると、平成12年度末における遮音壁設置延長は4,790kmである。また、高規格幹線道路を所管する各社の公表値及びそれに伴う推計によると、遮音壁導入済み総延長は約3,148kmである。これが2013年の数値であると仮定すると、単純計算により年間 $(4,790 - 3,148) / 13 = 126\text{km}$ ずつ導入が進められていると考えることができる。

表 3-119 高規格幹線道路各社のデータ

	道路延長 (開業済み)	遮音壁設置実績 (設置延長)	割合	割合 (平均)
NEXCO 東日本	3,733km	約1,000km	26.8%	32.6%
NEXCO 中日本	1,949km	907km	46.5%	
NEXCO 西日本	3,375km	1,047km	31.0%	
首都高速道路	322km	公表値なし	※上記平均値	32.6%で試算
阪神高速道路	273km	約194km		
総合計	9,652km	※3,148km		

#### b. 木材利用量原単位 (m<sup>3</sup>/km)

昨年度は、ヒアリング・文献調査により、木材利用量原単位は102m<sup>3</sup>/kmと設定された。今年度は、ヒアリング・文献調査を基に、円柱材仕様の遮音壁の木材利用量原単位は、206m<sup>3</sup>/kmと設定されている。

c. 普及率（年間の遮音壁導入実績における木製遮音壁の導入実績の割合）

国土交通省ホームページ「国土交通省における木材利用推進状況について（平成24年度）」によると、平成22年度～平成24年度の間、木製遮音壁は年間1kmずつ新規の導入がなされている。年間遮音壁導入実績が126km/年であるので、普及率は0.8%と推計できる。ここでは、1%,5%,10%で推計を行う。

5) データのまとめ

データ項目	データの詳細	出所
年間遮音壁導入実績 (km/年)	高規格幹線道路の各社における導入実績合計（非木材）： 126km/年	【データ】 国土交通省ホームページ「道路整備五箇年計画の進捗状況と今後の取り組み方針」  NEXCO各社の公表値
木材利用量原単位 (m <sup>3</sup> /km)	102m <sup>3</sup> /km（平成25年度調査の値）  206 m <sup>3</sup> /km（平成26年度調査の値）	【データ】 文献調査及び有識者ヒアリング等
普及率（年間の遮音壁導入実績における木製遮音壁の導入実績の割合）	1%, 5%, 10%で算出するとともに、実際の普及率である0.5%でも算出	【データ】 国土交通省HP「国土交通省における木材利用推進状況について（平成24年度）」

6) 推計結果

年間遮音壁導入実績 (km/年)	木材利用量原単位 (m <sup>3</sup> /km) (平成25年度調査の値)	普及率（年間の遮音壁導入実績における木製遮音壁の導入実績の割合）	木材利用量 (m <sup>3</sup> /年)
126	102	1%	129
		5%	643
		10%	1285

年間遮音壁導入実績 (km/年)	木材利用量原単位 (m <sup>3</sup> /km) (平成26年度調査の値)	普及率（年間の遮音壁導入実績における木製遮音壁の導入実績の割合）	木材利用量 (m <sup>3</sup> /年)
126	206	1%	260
		5%	1298
		10%	2596

#### 〔参考〕環境省の推計に基づく検討

環境省では、道路交通騒音対策検討会（平成12年）において遮音壁設置などの騒音対策が必要な道路総延長を試算している。

道路交通騒音の発生状況について、自動車単体対策、速度規制、低騒音舗装、低層遮音壁を組み合わせた対策の効果を予測。

昼夜ともに実勢走行速度が規制速度を10km/h超過していると仮定した場合、道路交通センサス（平成6年）における用途区域内の道路総延長47,000km（両側延長）のうち、昼間または夜間に環境基準を超過する道路延長は、昼間で31,200km（66.4%）、**夜間で19,400km（41.3%）**と推計。

これに対し、自動車単体対策（現在の規制値が達成されたと仮定）、速度規制（昼夜ともに規制速度遵守）、低騒音舗装（環境基準超過区間のすべてで実施）、低層遮音壁（高さ1.0m、幅員3.0m以上の歩道を有する区間すべてで実施）の組み合わせによる対策を実施することとして、その効果を推計した結果、環境基準を超過する道路の延長が、昼間で7,100km（15.1%）、夜間で6,100km（13.0%）まで減少。

この結果を踏まえると、低層遮音壁による騒音対策に効果のある道路総延長が約13,300km（両側延長）と推計できる。



### (3) 木製ガードレールの工事可能性に関する推定値

#### 1) 推計の概要

- 【鋼鉄製ガードレールの施工量の推計】

国土交通省における平成 15 年度段階における鋼鉄防護柵設置延長は、約 17 万 2 千 km と推計。

(内訳)

直轄国道：約 1.8 万 km、補助事業による国道：約 1.7 万 km、国道・県道約 5.2 万 km、市町村道：約 8.4 万 km

平成 22 年度段階での総延長距離は約 18 万 km と推計。そのうち新規及び維持管理による年間施工延長が **3,000~4,000km/年**と推計。

- 【木製ガードレールの施工量（実績値）】

木製ガードレール設置延長については、一般社団法人 日本木製防護柵協会 (<http://www.wood-gr.jp/>、和光コンクリート工業(株)が事務局)の施工実績集計データなどが利用可能。

平成 6 年度～平成 17 年度までの木製ガードレール施工総延長は 130km。

平成 17 年度～平成 21 年度の 5 ヶ年では、72.7km。木材使用量は約 4 万 7 千 m<sup>3</sup>(約 648 m<sup>3</sup>/km)。

(内訳)

国道：約 16.1km、都道府県道：約 21.6km、市町村道：約 5.8km、林道等：約 29.2km  
単純計算で約 15km/年。これは、年間施工延長で 3,000km/年とした場合の 0.5%に相当 (約 9,720 m<sup>3</sup>/年：約 1 万 m<sup>3</sup>)。

以上を踏まえ、

年間のガードレール施工総延長距離を 3,000km/年と仮定し、

1) 約 1% (現状の 2 倍) つまり 30km/年の場合、約 19,440 m<sup>3</sup>/年

2) 約 3.3%、つまり **100km/年**の場合、約 64,800 m<sup>3</sup>/年

3) 約 5%、つまり 150km/年の場合、約 97,200 m<sup>3</sup>/年 (**約 10 万 m<sup>3</sup>**)

4) 約 10%、つまり 300km/年の場合、約 194,400 m<sup>3</sup>/年 (**約 20 万 m<sup>3</sup>**)

## 2) 木製ガードレールにおける木材利用量の推計の考え方

鋼鉄防護柵設置延長の年間施工延長を基に、木製ガードレールにおける木材利用量を推計する。

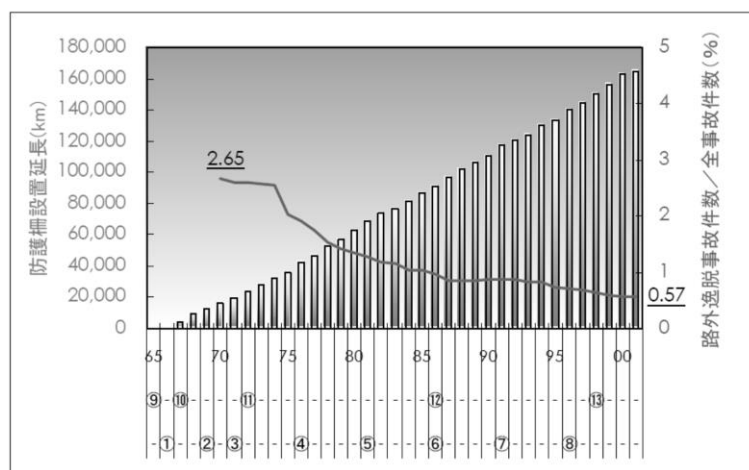
## 3) 木製ガードレールにおける木材利用量の推計

木製ガードレールにおける木材利用量は、以下の推計式で求められると考えられる。

$$\begin{aligned} \text{木材利用量 (m}^3\text{/年)} &= \\ &\text{年間ガードレール施工延長距離 (km/年)} \\ &\times \text{木材利用量原単位 (m}^3\text{/km)} \\ &\times \text{普及率} \end{aligned}$$

### a. 年間ガードレール施工延長距離 (km/年)

国土交通省「防護柵の設置状況」における平成15年度段階における鋼鉄防護柵設置延長は、約172,000kmと推計されている。また、平成22年度段階での総延長距離は約180,000kmと推計されており、そのうち新規及び維持管理による年間施工延長が3,000~4,000km/年と推計されている。ここでは3,000km/年を年間の施工延長距離として推計を行う。



交通安全施設等整備事業等		基準等	
①	S41「交通安全施設整備事業に関する緊急措置法」 S41「第1次3箇年計画」	⑨	S40「ガードフェンス設置要綱」
②	S44「第2次3箇年計画」	⑩	S42「防護柵設置要綱(改訂版)」
③	S46「第1次5箇年計画」	⑪	S47「防護柵設置要綱(改訂版)」
④	S51「第2次5箇年計画」	⑫	S61「防護柵設置要綱・資料集」
⑤	S56「第3次5箇年計画」	⑬	H10「防護柵の設置基準・同解説」
⑥	S61「第4次5箇年計画」		
⑦	H03「第5次5箇年計画」		
⑧	H08「7箇年計画」		

図 3-163 防護柵設置延長と路外逸脱事故件数が全事故件数に占める割合の推移

(注) ガードレール設置延長は、鋼製ガードレール協会による「鋼製防護柵」の設置総延長の調査結果。

(注) 木製ガードレール設置延長は、一般社団法人 日本木製防護柵協会 (<http://www.wood-gr.jp/>、和光コンクリート工業(株)が事務局)の施工実績集計データなどから推定した結果。

#### b. 木材利用量原単位 (m<sup>3</sup>/km)

一般社団法人日本木製防護柵協会の施工実績集計データによると、平成17年度～21年度の5年間における木製ガードレール施工総延長は72.7kmである。また、この期間に木製ガードレール工事に用いた木材は約47,000m<sup>3</sup>とされる。これより、木材利用量原単位を約648m<sup>3</sup>/km (47,000÷72.7) と設定される。昨年度調査では、本値が用いられている。

長野県林業総合センター及び建材メーカーへのヒアリング結果より、木製3号型ガードレールの木材利用量は53m<sup>3</sup>/kmである。今年度調査では、本値を原単位とされている。

#### c. 普及率 (ガードレールの年間施工延長における木製ガードレールの割合)

一般社団法人日本木製防護柵協会の施工実績集計データによると、平成17年度～21年度の5年間における木製ガードレール施工総延長は72.7kmであるから、単純計算で年間約15kmの木製ガードレールが施工されていると推計できる。年間ガードレール施工延長距離は3,000km/年と設定したので、普及率は0.5%となる。また、1%,5%,10%でも推計を行う。

#### 4) データのまとめ

データ項目	データの詳細	出所
年間ガードレール施工延長距離 (km/年)	国土交通省推計値： 3,000km/年	【データ】 国土交通省「防護柵の設置状況」等
木材利用量原単位 (m <sup>3</sup> /km)	648m <sup>3</sup> /km (平成25年度調査の値) 木製3号型ガードレールの木材利用量： 53m <sup>3</sup> /km (平成26年度調査の値)	【データ】 一般社団法人日本木製防護柵協会の施工実績集計データ 長野県林業総合センター及び建材メーカーへのヒアリング
普及率(ガードレールの年間施工延長における木製ガードレールの割合)	1%, 5%, 10%で算出するとともに、試算した普及率の0.5%でも算出	【データ】 一般社団法人日本木製防護柵協会の施工実績集計データ

#### 5) 推計結果

年間ガードレール施工延長距離 (km/年)	木材利用量原単位 (m <sup>3</sup> /km)	普及率(ガードレールの年間施工延長における木製ガードレールの割合)	木材利用量 (m <sup>3</sup> /年)
3,000	648	0.5%	9,720
		1%	19,940
		5%	97,200
		10%	194,400

年間ガードレール施工延長距離 (km/年)	木材利用量原単位 (m <sup>3</sup> /km)	普及率(ガードレールの年間施工延長における木製ガードレールの割合)	木材利用量 (m <sup>3</sup> /年)
3,000	53	0.5%	795
		1%	1,590
		5%	7,950
		10%	15,900

〔参考1〕道路総延長について（国土交通省 道路統計年報 2012 より）

道路種別	総延長 <sup>*1</sup>	実延長 <sup>*2</sup>
高速自動車国道	9,207.7 km	7,920.2 km
一般国道	67,297.5 km	55,114.4 km
都道府県道	142,368.6 km	129,343.0 km
市町村道	1,052,698.5 km	1,020,286.1 km
合計	1,271,572.2 km	1,212,663.7 km

\* <http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-data/tokei-nen/index.html>

〔対象道路〕「道路法」第三条(道路の種類)に定められた高速自動車国道、一般国道、都道府県道、市町村道（他の法律で所管する林道、農道などは含まず）

\*1) 総延長：道路法の規定に基づき指定又は認定された路線の全延長

\*2) 実延長：総延長から重複区間（重用延長）、供用開始告示前の道路（未供用延長）等を除いた延長

重用延長：上級の路線に重複している区間の延長

未供用延長：路線の認定の告示がなされているが、まだ供用開始の告示がなされていない区間の延長

〔参考2〕 ガードレール施工費用について

防護柵設置基準（国土交通省道路局長通達）により「車両用防護柵は原則としてたわみ性防護柵を選定するものとする」とされる。これに該当する代表的なガードレールを下表に示す。

種類			設置費用	備考
鋼鉄製	ビーム型	ガードレール 	およそ 10,000 円/m	一般的
		ガードパイプ 	およそ 20,000 円/m	施工性に難
	ケーブル型（ガードケーブル） 		およそ 10,000 円/m	強度（高速衝突時）に課題
	橋梁用ビーム型 		およそ 30,000 円/m	
木製	ビーム型	丸棒	およそ 17,000 円/m	

出典）新潟県土木工事のあらましについて知識編より抜粋

### 〔参考3〕木製ガードレールの現状

平成23年9月現在、車両用防護柵（ガードレール）性能確認検査試験実施の木製ガードレールは12種類（下表）

図 3-164 木製防護柵（車両用防護柵性能確認試験実施製品の一覧）

防護柵名(製品名)	開発機関	種別	構造				認証機関*
			ビーム	主要樹種	断面寸法(mm)	支柱	
ウッドガードレール	和光コンクリート工業(株)	B種	木材	杉	φ 200+φ 180	コンクリート	九州地方整備局延岡国道事務所
		C種	木材	杉	φ 180×2	コンクリート	(財)土木研究センター
		C種	木材	カラマツ	φ 180×2	コンクリート	(財)土木研究センター
ログガードレール	ログガード協会	C種	木材+鋼板	杉	φ 180半割×2	鋼管	(財)土木研究センター
ST型	サク塗装(株)	C種	木材+鋼棒	カラマツ	□150×2	鋼管+木製裝飾版	(財)土木研究センター
木製防護柵	(社)日本木材加工技術協会	B種	木材	杉	φ 200×2	鋼管	(財)土木研究センター
		C種	木材+L型鋼	合板	□120×2	鋼管	(社)日本木材加工技術協会
四国木製防護柵	四国地方整備局 四国技術事務所	B種	木材+鋼板	杉	φ 180×2	鋼管	四国地方整備局
高知木製防護柵	高知県森林技術センター	C種	木材+鋼板	杉	φ 180×2	鋼管	(財)土木研究センター
神奈川県型木製防護柵	神奈川県小田原土木事務所	C種	鋼製ビーム+木版	ヒノキ	φ 120 三分割	鋼管	(財)土木研究センター
ぐんま型木製防護柵	群馬県吾妻森林組合	C種	木材	杉	φ 180+φ 160	鋼管	(財)土木研究センター
北海道型木製ガードレール	北海道産木材利用協同組合	B種	木材+山型鋼	カラマツ集成材	◇120×2	鋼管+根巻き	(財)土木研究センター

出典) 和光コンクリートご提供資料より抜粋

#### 〔参考4〕海外での木製ガードレール施工実績について

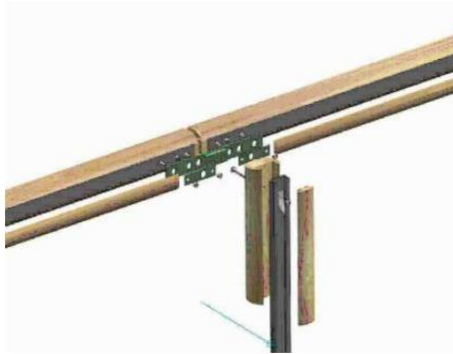
(張ほか「木製ガードレールの普及拡大に関する調査」より)

##### 【状況】

1980年代にはその殆どが鋼製ガードレール。

フランスの企業(Tertu社、<http://www.tertu.com/> 1992創業)が1995年から木製ガードレールの開発・提供を始めたことがきっかけで欧州(特にフランス国内)での木製ガードレールの設置実績が増えている。

フランスで開発された木製ガードレールは、図のような木材と鋼材の複合構造であり、横梁の後ろには鋼板、支柱はU字鋼で補強している。横梁の木材がブロックアウトの確保と車両の誘導に機能し、鋼材は衝突荷重を受け持っている。



2010年のT社木製ガードレールの年間設置延長は約400km(フランス国内が280km、海外への輸出が120km)。設置場所は、景観道路、空港などのアクセス道路および観光地域。製品は、北米、南米およびオーストラリアなどの国々での実績が増えており、更に東南アジアや中国、韓国においても試験的な設置が始まっている。

#### (4) 木製治山ダムの工事可能性に関する推計値の導出イメージ

間伐材の利用を推進するため、自然環境にも配慮した木製治山ダムの施工が行われている。京都府ホームページ「木製治山ダム 解説」では、施工適地として、以下の条件を考慮することが提案されている。

- 大規模な土石流の発生する可能性の低い小溪流
- 人家等から遠くない森林地域
- 環境保全、景観保全が重要な溪流
- 冷涼な気候で常に流水のある溪流
- 周辺が樹木で被われており日射の少ない箇所
- 補修や維持管理が容易な場所

ここでは、木製治山ダムにおける木材利用量の推計を行う。

#### 1) 木製治山ダムにおける木材利用量の推計

治山ダムにおける木材利用量については、更新需要・新規需要から値を求めることが困難であるため、治山事業費を用いて推計を行う。

$$\begin{aligned} \text{木材利用量 (m}^3\text{/年)} &= \\ &\text{年間山地治山事業費 (億円/年)} \\ &\times \text{木製治山ダム事業費あたりの木材使用量 (m}^3\text{/億円)} \\ &\times \text{普及率} \end{aligned}$$

##### a. 年間山地治山事業費 (億円/年)

林野庁「森林・林業統計要覧 2014」によると、平成 24 年度の民有林治山事業の山地治山事業費は 417 億円、国有林野内直轄治山事業の山地治山事業費は 188 億円である。この合計を年間の山地治山事業費と考えると、605 億円/年となる。

##### b. 木製治山ダム事業費あたりの木材使用量 (m<sup>3</sup>/億円)

京都府農林水産部へのヒアリング結果によると、京都府の平成 25 年度における木製治山ダムの工事費 1 億円あたりの木材使用量は、約 200m<sup>3</sup>であるため、200m<sup>3</sup>/億円を用いる。なお、治山事業全体での木材使用量は約 350 m<sup>3</sup>/億円とされる。

##### c. 普及率 (治山事業における木材利用率)

京都府農林水産部へのヒアリング結果によると、京都府の平成 25 年度における治山事業費の総額は、約 15.7 億円である。京都府の治山工事を全て木材主体と仮定すると、総治山事業費 15.7 億円に対して木材使用量が約 350 m<sup>3</sup>/億円であるため、5,495 m<sup>3</sup> (=15.7×350) の使用量が見込まれると考えられる。しかし、京都府農林水産部へのヒアリング結果によると、実際に平成 25 年度に用いられた木材量は 1,657 m<sup>3</sup>であり、木材利用率は 30.1%と算定される。ここでは、木材利用率として 30%を用いて推計を行う。



## 2) データのまとめ

データ項目	データの詳細	出所
年間山地治山事業費 (億円/年)	山地治山事業の年間事業費： 605 億円/年	【データ】 林野庁「森林・林業統計要覧 2014」
木製治山ダム事業費 あたりの木材使用量 (m <sup>3</sup> /億円)	木製治山ダムの工事費あたり木材 使用量： 200m <sup>3</sup> /億円	【データ】 京都府農林水産部ヒアリング 結果
普及率(治山事業にお ける木材利用率)	1%, 5%, 10%で算出するとともに、 京都府の治山事業における木材利 用率30%でも算出	【データ】 京都府農林水産部ヒアリング 結果

## 3) 推計結果

年間治山事業費 (億円/年)	木製治山ダム 事業費あたりの 木材使用量 (m <sup>3</sup> /億円)	普及率 (治山事業における 木材利用率)	木材利用量 (m <sup>3</sup> /年)
605	200	1%	1,210
		5%	6,050
		10%	12,100
		30%	36,300

## (5) 水制工の工事可能性に関する推計値の導出イメージ

水制工は古くから河川のさまざまな箇所に複数設置され、そのまま放置されていることが多く、さらにそのうちのどれだけが木材を使用する水制工なのか不明であるため、その総数や年間需要の把握は困難である。

仮に一定の仮定を置いて年間の水制工需要面積が設定できた場合、例えば環境工学株式会社ホームページの数値を利用すると、4層建型の木工沈床の間伐材使用量が  $13.6 \text{ m}^3/100 \text{ m}^2$  であることから、これに乗じることで年間の木材需要を推計できる。

北海道「土木用木材木製品設計マニュアル」によると、木製水制工が杭柵工の場合、10mあたりの木材使用量の合計は約  $25.5 \text{ m}^3$  である。

表 3-120 杭柵工における木材利用量（10m あたり）の例

名称	規格	本数（本）	数量（ $\text{m}^3$ ）
親杭	径 15cm 長さ 3.0m	5.00	0.340
腹起	径 12cm 長さ 4.0m	2.50	0.145
立成木	径 9cm 長さ 2.0m	50.00	0.800
吸い出し防止材			18.20
裏込材			6.00
合計			25.5

出典) 北海道「土木用木材木製品設計マニュアル」（平成 22 年 11 月改定）

## (6) ウッドチップ舗装の工事可能性に関する推計値

ウッドチップ舗装は、主に公園や緑地の遊歩道、一部駐車場を含む建築構造物の外構部で整備・普及が進んでいる状況である。一般歩道との直接的代替関係を見込むのではなくこうした実態を踏まえた新規の導入可能量推計や、自然歩道での活用可能性も視野に入れた推計が必要となる可能性がある。

### 1) ウッドチップ舗装における木材利用量の推計

ウッドチップ舗装における木材利用量は、以下の推計式で求められると考えられる。

$$\text{木材利用量（m}^3\text{/年）} = (\text{更新需要（km/年）} + \text{新規需要（km/年）}) \times \text{木材利用量原単位（m}^3\text{/km）}$$

$$\text{更新需要（km/年）} = \text{国・都道府県道における歩道実延長（km）} \times \text{更新割合（/年）} \times \text{普及率}$$

$$\text{新規需要（km/年）} = \text{年間歩道実延長の増分（km/年）} \times \text{普及率}$$

#### a. 国・都道府県道における歩道実延長 (km)

国土交通省「道路統計年報 2014」によると、全国の国・都道府県道における歩道設置道路実延長は 83,616.4km であるため、歩道実延長についても同様の値であると考えられる。

また、木材利用が期待される自然歩道についても需要を検討する。環境省「NATS 自然大好きクラブ 長距離自然歩道を歩こう!」によると、全国の自然歩道実延長は 27,411km であり、この値を用いた算定も行う。

#### b. 更新割合 (/年)

田中建材株式会社「木質加熱アスファルト舗装 (ハーモニーロードウッド) の紹介」によると、木質加熱アスファルト舗装においてもアスファルト舗装と同程度の耐用年数が見込めるとされる。木質加熱アスファルト舗装とは、解体廃木材や間伐材をチップ化し、加熱アスファルトと加熱混合させたものである。ここでは、ウッドチップ舗装の耐用年数についても、アスファルト舗装道路の耐用年数と同等とみなし、その逆数を更新割合として用いる。国税庁「平成 15 年分収支内訳書 (不動産所得用) の書き方」によると、アスファルト敷の舗装道路の耐用年数は 10 年であるため、更新割合は 1/10 (/年) とする。

#### c. 年間歩道実延長の増分 (km/年)

国土交通省資料 (平成 24 年度近畿建設リサイクル表彰 受賞者田中建材株式会社 発表資料「木質加熱アスファルト舗装 (ハーモニーロードウッド)」) では、年間で新設される歩道実延長は 700km と仮定を行っており、本値を年間歩道実延長の増分と考える。

なお、自然歩道では新規需要を含めずに推計を行うこととし、本値を用いない。

#### d. 木材利用量原単位 ( $m^3/km$ )

岩手県大槌町での工事事例における施工業者等へのヒアリング結果から原単位を設定する。まず、本工事における木材使用量は 2,480kg である。本工事において用いられた木材はスギやアカマツといった針葉樹の塩害木である。玉野総合コンサルタント株式会社作成「先導的都市環境形成促進事業 実証実験等業務委託報告書」によると、舗装材質としてのスギの密度は  $275.7kg/m^3$  とされており、この値をウッドチップの密度として用いる。さらに、本工事の舗装面積が  $110m^2$  であり、秋田県立大学木材高度加工研究所「東日本大震災被災地における木質災害廃棄物と地域木材活用プロジェクト」によると、道幅は 1.2m であるため、舗装延長は  $110m^2 \div 1.2m = 91.7m$  (0.0917km) であるとわかる。以上より、木材利用量原単位は、 $2,480kg \div 275.7kg/m^3 \div 0.0917km = 98.1m^3/km$  と推計される。

## 2) データのまとめ

データ項目	データの詳細	出所
国・都道府県道における歩道実延長 (km)	<p>国・都道府県道における歩道設置道路実延長： 83,616.4km</p> <p>全国の自然歩道実延長： 27,411km</p>	<p>【データ】 国土交通省「道路統計年報」</p> <p>環境省「NATS 自然大好きクラブ 長距離自然歩道を歩こう！」</p>
更新割合 (/年)	<p>アスファルト舗装道路の耐用年数の逆数： 1/10 (1/年)</p> <p>※ウッドチップ舗装について、アスファルト舗装と同等の耐用年数を見込めると仮定</p>	<p>【データ設定の根拠】 田中建材株式会社「木質加熱アスファルト舗装(ハーモニーロードウッド)の紹介」</p> <p>【データ】 国税庁「平成 15 年分収支内訳書(不動産所得用)の書き方」</p>
<p>年間歩道実延長の増分 (km/年)</p> <p>※自然歩道では考慮しない</p>	<p>年間で新設される歩道実延長： 700km/年</p>	<p>【データ】 国土交通省資料(平成 24 年度近畿建設リサイクル表彰 受賞者田中建材株式会社 発表資料「木質加熱アスファルト舗装(ハーモニーロードウッド)」)</p>
木材利用量原単位 (m <sup>3</sup> /km)	<p>岩手県大槌町の事例における木材使用量： 98.1 m<sup>3</sup>/km</p>	<p>【データ】 岩手県大槌町での工事事例における施工業者等へのヒアリング結果</p> <p>玉野総合コンサルタント株式会社作成「先導的都市環境形成促進事業 実証実験等業務委託報告書」</p> <p>秋田県立大学木材高度加工研究所「東日本大震災被災地における木質災害廃棄物と地域木材活用プロジェクト」</p>
普及率	<p>更新需要・新規需要ともに同じ普及率と仮定： 1%, 5%, 10%で算出</p>	—

### 3) 推計結果

分類	国・都道府県道における歩道実延長(km)	更新割合(/年)	年間歩道実延長の増分(km/年)	木材利用量原単位(m <sup>3</sup> /km)	普及率	木材利用量(m <sup>3</sup> /年)
一般歩道	83,616.4	1/10	700	98.1	1%	<u>8,889</u>
					5%	<u>44,447</u>
					10%	<u>88,895</u>
自然歩道	27,411		-	98.1	1%	<u>2,689</u>
					5%	<u>13,445</u>
					10%	<u>26,890</u>

#### (7) 土木分野における木材利用可能性の推計値の導出のまとめ

##### 1) 原単位（平成 25 年度調査）

分類	原単位
丸太打設	586m <sup>3</sup> /500m <sup>2</sup> （標準工事仕様）
木製遮音壁	102m <sup>3</sup> /km
木製ガードレール	648m <sup>3</sup> /km

##### 2) 原単位（平成 26 年度調査）

分類	原単位
丸太打設	58.4m <sup>3</sup> /225.4m <sup>2</sup> （金沢市工事仕様）
木製遮音壁	206 m <sup>3</sup> /km
木製ガードレール	53m <sup>3</sup> /km
水制工	25.5 m <sup>3</sup> /10 m
ウッドチップ舗装	98.1 m <sup>3</sup> /km

### 3) 土木分野における木材利用可能性の推計値のまとめ

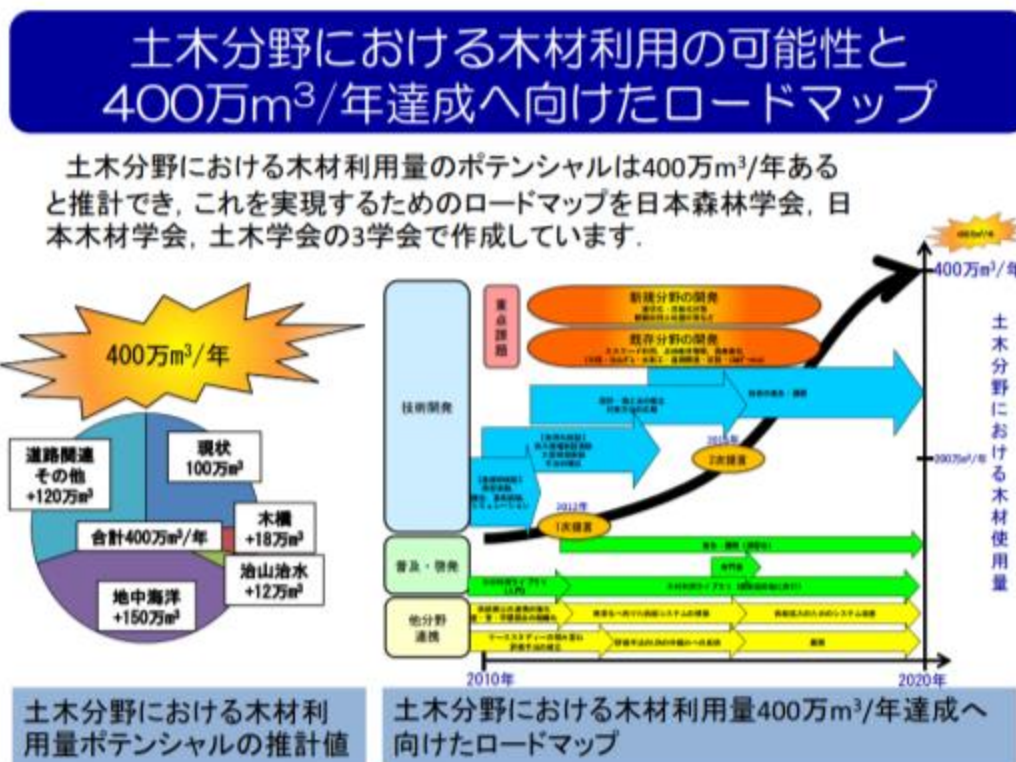
木材利用原単位を、今年度調査の値に更新し、木材利用量を推計した結果を示す。なお、丸太打設のみ、昨年度に使用した標準工事仕様のデータによる推計値も示す。

(単位：m<sup>3</sup>/年)

分類		普及率			
		1%	5%	10%	30%
丸太打設	標準工事仕様	407,000	2,040,000	4,070,000	—
	金沢市工事仕様	90,100	450,000	901,000	—
木製遮音壁		260	1298	2596	—
木製ガードレール		1,590	7,950	15,900	—
木製治山ダム		1,210	6,050	12,100	36,300
水制工		—	—	—	—
ウッドチップ 舗装	歩道	<u>8,889</u>	<u>44,447</u>	<u>88,895</u>	—
	自然歩道	<u>2,689</u>	<u>13,445</u>	26,890	—
合計（丸太打設 標準工事仕様の場合）		421,638	2,113,190	4,170,995	—
合計（丸太打設 金沢市工事仕様の場合）		104,738	523,190	1,001,995	—

(参考) 提言「土木分野における木材利用の拡大へ向けて (概要版)」

(土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会)



(参考) 将来を見据えた木材利用の可能性

木造の戸建住宅や低層建物、および様々な建物の内装材としては、これまでも木材が多く利用され、今後も主要な活用対象となる。また、木と他の部材を組み合わせた混構造等とすることや、耐火性を付加し大臣認定を受けた木質部材や、CLT (クロス・ラミネイティド・ティンバー：直交集成板) の活用により、建築物木造化の限界を押し広げ、大型施設や中層ビルなど新たな用途での木材需要を飛躍的に拡大できる可能性を秘めている。

土木分野においても、道路遮音壁やガードレール、木橋、街路灯看板、木杭による地盤の液状化対策、海洋設備等、都市部での木材利用は多岐にわたる。また、山間部や河川では治山ダムや法面保護、河川護岸等における木材利用が見込まれる。

表 3-121 木材利用可能なフィールド

分類		フィールド
1 住宅・ 建築構法	1.1 戸建住宅 集合住宅	木造軸組工法
		木質梁勝ちラーメン構造
		集成材フレーム+耐力パネル
		2×4工法
		2×6工法
	1.2	木造仮設建築

分類		フィールド
	一般建築	混構造
		大スパン
		ラーメン
2	住宅・建築構造部材	地盤補強工法
		土台
		無垢乾燥剤
		2×4工法用スタッド（間柱）材
		住宅初期強度維持支援システム
		ボード
		構造用合板
		造作材、構造材
		集成材
		異樹種集成材
		耐火集成材
		耐震補強工法
3	3.1 床	パーティクルボード
		複合フローリング
		複合フローリング（集成材）
		複合フローリング（無垢材）
		無垢縁甲板
	3.2 壁	化粧不燃板
		不燃木材
		無垢羽目板
	3.3 天井	不燃木材
	3.4 その他	リビングドア
		室内階段
		室内格子間仕切り
		調湿内壁
		巾木、廻り縁
		家具（パーティクルボード、MDF（繊維板））
		厨房（パーティクルボード）
		家具コーディネート商品
		内装（MDF（繊維板））
		付器
木炭利用		
ペット用トイレ（砂（猫砂））		
4	4.1 屋根	瓦葺
		木製防火外装材
	4.2 壁	木質外装材
住宅・建築 塗装	住	



分類		フィールド
	4.3 外部建具	木片セメント板
		木製ルーシー
		木製サッシ
5 住宅・建築設備		受水槽
		段ボール製のダクト
		段ボール素材のダクト
6 住宅・建築外構		ウッドデッキ
		ウッドフェンス
7 土木 構造 物・ 工 法	7.1 橋	歩道橋
	7.2 道路・線路	ガードレール
		遮音壁
		防護柵
		木柵
		木材チップ舗装
	7.3 河川・海洋	木製堰堤
		木工沈床
	7.4 基礎	軟弱粘性土地対策
		液状化地盤対策
	7.5 法面	法面緑化
	7.6 その他	木製谷止・法止
		照明灯
		東屋（あづまや）
看板		
看板・敷板		
9 流通・供給		国産材丸太、チップ
		J-VER（オフセット・クレジット）

出典) JAPIC、土木学会資料等を基に作成

### 3.3 木材・木材利用の省エネ省 CO<sub>2</sub> 効果等のデータ収集・分析

本項では、海外における建築・木製品分野、土木分野における CO<sub>2</sub> 排出量、温室効果ガス排出、エネルギー消費、室内環境等の定量的な把握、他の部材を使用した場合との比較調査に関する文献を調査した。

#### 3.3.1 文献収集・整理の方法

文献収集にあたっては、建築・木製品分科会、土木分科会の委員にご助言・資料提供をいただいた。

また、建築・木製品分野、土木分野における CO<sub>2</sub> 排出量、温室効果ガス排出、エネルギー消費に関する各国の調査・分析を取りまとめたレポート”Energy and CO<sub>2</sub> Advantages of Wood for Sustainable Buildings”, Andy Buchanan (2007) を参考にした。

表 3-122 海外における類似の調査・分析事例

論文タイトル	掲載誌名	掲載年	筆者
Wood as a building material in the light of environmental assessment of full life cycle of four buildings	Construction and Building Materials	2014	Grzegorz Pajchrowskia ら
Life Cycle Energy Consumption and Carbon Dioxide Emission of Residential Building Designs in Beijing	Journal of Industrial Ecology	2012	Xianzheng Gong ら
Building energy-efficiency standards in a life cycle primary energy perspective	Energy and Buildings	2011	Ambrose Dodoa ら
Energy and CO <sub>2</sub> analysis of wood substitution in construction	Climatic Change	2011	Leif Gustavsson ら
Life cycle primary energy use and carbon emission of an eight-storey wood-framed apartment building	Energy and Buildings	2010	Leif Gustavsson ら
Carbon implications of end-of-life management of building materials	Resources, Conservation and Recycling	2009	Ambrose Dodoa ら
The study on the carbon dioxide sequestration by applying wooden structure on eco-technological and leisure facilities	Renewable Energy	2009	Chung-Pin Hunga ら
The greenhouse gas and energy impacts of using wood instead of alternatives in residential construction in the United States	Biomass and Bioenergy	2008	Brad Uptona ら
Wooden building products in comparative LCA	The International Journal of Life Cycle Assessment	2007	Frank Werner ら
Energy and CO <sub>2</sub> Advantages of Wood for Sustainable Buildings	?	2007	Andy Buchanan
Variability in energy and carbon dioxide balances of wood and concrete building materials	Building and Environment	2006	Leif Gustavsson ら

Carbon Dioxide Balance of Wood Substitution: Comparing Concrete- and Wood-Framed Buildings	Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change	2006	Leif Gustavsson ら
Assessment of the decrease of CO <sub>2</sub> emissions in the construction field through the selection of materials: Practical case study of three houses of low environmental impact	Building and Environment	2006	María Jesús González ら
Greenhouse Gas Dynamics of an Increased Use of Wood in Buildings in Switzerland	Climatic Change	2006	Frank Werne ら
Timber in government buildings - cost and environmental impact analysis	BRANS report	2006	—
Energy and Greenhouse Gas Impacts of Substituting Wood Products for Non-Wood Alternatives in Residential Construction in the United States	Nationalcouncil for Air and Stream Improvement	2006	Upton, B. ら
Wood innovation in the residential construction sector; opportunities and constraints	Resources, Conservation and Recycling	2001	Tessa Goversea ら
Estimating the embodied energy of timber building products.	Journal of the Institute of Wood Science	2000	Pullen, S.
Greenhouse gas balances in building construction: wood versus concrete from life-cycle and forest land-use perspectives	Energy Policy	2000	Pål Börjesson ら
Wood-based building materials and atmospheric carbon emissions	Environmental Science & Policy	1999	Andrew H Buchanana ら
Life Cycle Assessment of Wood Products	Carbon Dioxide Mitigation in Forestry and Wood Industry	1998	Klaus Richter
Carbon Dioxide Implications of Building Materials	Journal of Forest Engineering	1992	R.L. Marceaa, K.K. Lau
Contribution of indoor exposed massive wood to a good indoor climate	Energy and Buildings 36	2004	Stéphane Hameury, Tor Lundström
Moisture buffering capacity of heavy timber structures directly	Energy and Buildings 40	2005	Stéphane Hameury
Wood as a building material in the light of environmental assessment of full life cycle of four buildings	Construction and Building Materials	2014	Grzegorz Pajchrowskia ら
Life Cycle Energy Consumption and Carbon Dioxide Emission of Residential Building Designs in Beijing	Journal of Industrial Ecology	2012	Xianzheng Gong ら
Building energy-efficiency standards in a life cycle primary energy perspective	Energy and Buildings	2011	Ambrose Doodoa, ら
Energy and CO <sub>2</sub> analysis of wood substitution in construction	Climatic Change	2011	Leif Gustavsson, Roger Sathre
Life cycle primary energy use and carbon emission of an eight-storey wood-framed apartment building	Energy and Buildings	2010	Leif Gustavsson ら

### 3.3.2 CO<sub>2</sub> 排出量、温室効果ガス排出、エネルギー消費等に関する調査・分析

#### (1) 木材生産の CO<sub>2</sub> 排出量等に関する既往研究

CO<sub>2</sub> 排出量、温室効果ガス排出、エネルギー消費等に関する調査・分析に関連する文献のうち、国産丸太の生産等に関する既往研究調査事例を下表にまとめた。

統計資料を用いたトップダウン型の分析では、森林施業に関わる各種燃料消費の影響（例：林内移動、作業路開設）が全て考慮される。しかし、単年度の燃料消費量と生産量で算定しているため、特に育林に相当する工程はそれがバランスしておらず、数値の妥当性に注意する必要がある。

一方、ボトムアップ型の研究事例は、各プロセスのデータを現場から一次データとして入手しているものの、サンプリング数が少ない。そのため施業方法の違いによるバラツキが出やすい。また、研究事例によって評価範囲が異なるため、事例間での平均化ができない。例えば大和田ら(2012)の研究では通勤の影響を含めており、その影響が大きいことが報告されているが、山内ら(2009)はそれを含まない。

各事例とも単位材積あたりおおよそ 10～30kg-CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup> 程度の温室効果ガス (GHG) 排出量となっているが、その主要な変動要因が不明瞭となっている。これらを特定し、今後簡易な方法で継続的にデータ更新できる仕組みを構築することが望まれる。

表 3-123 既往研究・調査における国産丸太の CO<sub>2</sub> 排出量

区分	名称	GHG(CO <sub>2</sub> e)排出量	出典	備考
トップダウン	スギ	11.8 kg/m <sup>3</sup>	産業技術総合研究所/産業環境管理協会：IDEA v.1.1(2013)	林業経営統計を利用。機械製造は含まず。
	ヒノキ	13.0 kg/m <sup>3</sup>		
	アカマツ・クロマツ	32.5 kg/m <sup>3</sup>		
	カラマツ	33.0 kg/m <sup>3</sup>		
	丸太	9.9 kg/m <sup>3</sup>		
	育林	0.41t/百万円		
ボトムアップ	森林施業	28.9 kg/m <sup>3</sup>	建築学会：建築用木材 DB ver.17(2013)	国内大手事業者からのヒアリング
	立木	20.8 kg/m <sup>3</sup>	外岡, 高口ら「国産天然素材木造住宅の LCA」エネルギー資源学会研究発表会講演論文集	宮城県の事例。苗木購入から主伐までを含む。
	丸太 (スギ)	11.1kg/m <sup>3</sup>	一重、長谷川ら「国産丸太のライフサイクルアセスメント事例」木材学会誌 59(5), 269-277 (2013)	・地拵えから間伐、主伐までをプロセス別に積み上げで調査 ・育苗、林内移動、機械製造、機械製造は含まない
	丸太 (カラマツ)	6.1～	古俣、由田ら「カラマツ丸太	・育苗、作業路開設、

区分	名称	GHG(CO <sub>2</sub> e)排出量	出典	備考
		15.2kg/m <sup>3</sup>	生産におけるCO <sub>2</sub> 排出のインベントリ分析」日本 LCA 学会誌 5(1), 131-137(2009)	林内移動、機械製造含まず。 ・間伐材としての丸太も同じ生産物として評価
	丸太 (北信スギ)	17.5kg/m <sup>3</sup>	山内、浅野ら「長野県北部におけるスギと長野県東部におけるカラマツのCO <sub>2</sub> 排出原単位及び木造住宅におけるCO <sub>2</sub> 排出量の算出」日本建築学会環境系論文集 74(645), 1261-1267(2009)	・長野県域での生産・利用 ・高性能林業機械の燃料消費量を聞き取り調査
	丸太 (群馬 2 箇所, 山梨, 京都)	15.8～25.9kg/m <sup>3</sup>	大和田、長崎ら「国産丸太の LCA による環境影響評価」第 7 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集 90-91(2012)	・通勤、作業路開設を含む

また、海外における丸太に関する既往研究調査事例を下表にまとめた。

海外において林業全体や丸太生産時の CO<sub>2</sub> 排出量評価は多くされてきた。Klein et al. (2015) がこれらをレビューした論文を発表しており、評価事例によって異なるシステム境界や配分基準等について整理している。本論文では、評価範囲とすべきシステム境界として、直接的なプロセス（育苗から伐採・搬出）だけでなく、間接的なプロセス（作業路開設や機械製造等）の影響も評価範囲に含めるべきであると提案している。また、主伐材と間伐材との環境負荷の配分については、材積基準で行うことを提案している。そのため、本林野庁事業における調査においても、これら推奨手法に基づき実施した。

表 3-124 既往研究・調査における海外丸太の CO<sub>2</sub> 排出量等評価事例

番号	出典	概要
1	Mirabella N, Castellani V, Sala S (2014) Forestry operations in the alpine context. Life cycle assessment to support the integrated assessment of forest wood short supply chain. Int J Life Cycle Assess 19:1524–1535.	イタリアの丸太生産の LCA 事例。特定サイトにおける作業システムごとの環境負荷を分析。当該サイトでは重機を多用する作業システムが最も GHG 排出量が多かった。
2	Timmermann V, Dibdiakova J (2014) Greenhouse gas emissions from forestry in East Norway. Int J Life Cycle Assess 19:1593–1606.	ノルウェー東部における丸太生産の GHG 排出量を評価した事例。17.9kg/m <sup>3</sup> としている。輸送の影響が約半分を占め、次いで主伐、集材の影響が大きいとしている。
3	Han H-S, Oneil E, Bergman RD, et al (2015) Cradle-to-gate life cycle impacts of redwood forest resource harvesting in northern California. J Clean Prod 99:217–	カリフォルニア北部におけるセコイヤ (redwood) の丸太生産時の LCA 事例。製材用丸太あたり 14.2～17.8kg/m <sup>3</sup> とした。(ヘリコプター搬出を除く)。

番号	出典	概要
	229.	
4	Dias, A.C., Arroja, L., 2012. Environmental impacts of eucalypt and maritime pine wood production in Portugal. J. Clean. Prod. 37, 368–376.	ユーカリ (eucalypt) とフランスカイガンショウ (maritime pine) の LCA 事例。集約的・近代的な施業方法の場合、それぞれ 18.5kg/m <sup>3</sup> 、12.2kg/m <sup>3</sup> と報告。
5	Engel, a. M., Wegener, J., Lange, M., 2012. Greenhouse gas emissions of two mechanised wood harvesting methods in comparison with the use of draft horses for logging. Eur. J. For. Res. 131, 1139–1149.	重機を多用した作業システムとそうでない作業システムとで比較した事例。重機を多用すると CO <sub>2</sub> 排出量が増加すると報告。
6	Klein D, Wolf C, Schulz C, Weber-Blaschke G (2015) 20 years of life cycle assessment (LCA) in the forestry sector: state of the art and a methodical proposal for the LCA of forest production. Int J Life Cycle Assess 20:556–575.	丸太の LCA に関するレビュー論文。平均値として 14.3 kg/m <sup>3</sup> (±10.7 SD)を示しているが、間接影響 (作業路開設など) を含まない文献もあるため、解釈には注意が必要。

## (2) 木造建築物等の CO<sub>2</sub> 排出量等に関する既往研究

同じ規模・目的の建築物の設計上の部材量、原単位からライフサイクルエネルギー、CO<sub>2</sub> 排出量について試算した以下の文献について、要旨を取りまとめた。

- タイトル：“Timber in government buildings - cost and environmental impact analysis”
- 出典：BRANZ レポート
- 要旨：

ニュージーランドの建設コンサルタント Building On Knowledge (BRANZ) 社が、ニュージーランド国内において、「学校の体育館」「外来診療所」の 2 種類の建築物について、鉄骨造、コンクリート造、木造の 3 種類の建築方法におけるエネルギー消費量、CO<sub>2</sub> 排出量、コストの評価を実施した。エネルギー、CO<sub>2</sub> 排出量の算定は、材の収穫、加工、輸送、建築、資材、廃棄までの範囲を対象として実施している。

エネルギー、CO<sub>2</sub> 排出量原単位については以下の通り。

**Table 11 Embodied energy and CO<sub>2</sub> coefficients**

<b>Embodied energy &amp; CO<sub>2</sub> emission coefficients</b>			
		<b>Embodied energy</b>	<b>CO<sub>2</sub> emissions</b>
		MJ/kg	gCO <sub>2</sub> /kg
Steel	Section & sheet	31.3	240
	Reinforcing bar	8.9	350
Timber	Dry/H1.2/ dressed	4.1	20
	Glulam	13.6	60
Particleboard sheet		60	120
Gypsum plasterboard		7.4	420
Fibre cement sheet		11	540
Hardfill/ backfill		0.04	2.3
Masonry block, filled.		1.0	130
Concrete 30 Mpa		1.2	160
Fibre glass insulation		32.1	770
Paint acrylic		89	102

原単位、3種類の建築方法による部材の使用量から試算した結果は、以下の通り。建設時のエネルギー消費については、木材が最も小さい値となっているが、維持補修、利用期間を入れると鉄骨、コンクリート造と比較して2%程度大きい結果となっている。

**Table 5 Embodied energy and CO<sub>2</sub> emissions for the health and gym buildings**

<b>Embodied energy and CO<sub>2</sub> emissions summary</b>			
Main structural component	Steel	Timber	Concrete
<b>Out-patients building</b>			
Initial construction			
Embodied energy GJ	4433	3612	4998
GJ/sqm	2.75	2.24	3.10
CO <sub>2</sub> emissions tonnes	172	101	251
kgCO <sub>2</sub> /sqm	107	63	156
Initial construction+maintenance+energy use (1)			
Energy use GJ	59838	60949	60347
GJ/sqm	37.1	37.8	37.4
CO <sub>2</sub> emissions tonnes	2383	2389	2461
kgCO <sub>2</sub> /sqm	1476	1480	1525
<b>Gymnasium</b>			
Initial construction			
Embodied energy GJ	1331	1255	2087
GJ/sqm	1.95	1.84	3.05
CO <sub>2</sub> emissions tonnes	42	42	78
kgCO <sub>2</sub> /sqm	62	62	115
Initial construction+maintenance+energy use (1), (2)			
Energy use GJ	6872	6796	7562
GJ/sqm	10.1	9.9	11.1
CO <sub>2</sub> emissions tonnes	260	260	296
kgCO <sub>2</sub> /sqm	381	381	433
(1) Assume 40kg CO <sub>2</sub> /GJ for energy use. Lighting, space conditioning, and equipment energy used is added over 50 years.			
(2) No space conditioning allowed for Gymnasium (lighting only).			

なお、この試算においては、鉄骨造、コンクリート造、木造ともに維持補修までの期間を同じ50年間と設定していること、鉄骨、コンクリート部材のリサイクル、リユースについては考慮していない点に留意する必要がある。

### 3.3.3 室内環境に関する調査・分析

スウェーデンにおいて、室内環境に関する調査・分析が行われている。鉄筋コンクリート造等の、他の構造と比較する形ではないが、湿度や温度の緩衝作用に関連する以下の文献について、要旨を取りまとめた。

- タイトル：“Contribution of indoor exposed massive wood to a good indoor climate”
- 著者：Stéphane Hameury<sup>a</sup>, Tor Lundström
- 出典：Energy and Buildings 36 (2004) 281–292
- 要旨：
 

一般に、人々の感じる快適さや健康、エネルギー利用は、室内の気温や湿度、特に時間や場所によるそれらの変動と密接に関連している。室内環境は主に暖房や換気、空調、建築物外構や建築素材、居住者、家具、そして建築構成材の寿命の影響を受ける。

近年、通常の壁と床材に使用される多孔物質が、温度や湿度といった室内の環境変動に緩衝作用をもたらす受動的システムとして注目されている。本稿の研究は、無垢材面を使用した室内環境で温度と湿度の変動にどれだけの緩衝作用がもたらされるのかについて言及している。

実験的研究はスウェーデンの多階層住宅で行われた。記録された室内の温度と相対湿度は、相対湿度が低くなった寒期を除いては、アメリカ暖房冷凍空調学会が良い室内環境として推奨する値とよく一致するものとなった。

室内の温度は冬場に暖かく、夏場に涼しく保たれ、広い面積に無垢材を使用することが温度変動に緩衝作用をもたらすと証拠づけられた。木材は熱伝導率がとても低く、コンクリートやレンガなどの他の建築素材に比べて良好な断熱材と言える無垢材の表面は、室内環境における温度変化を緩やかにする働きを持つ。

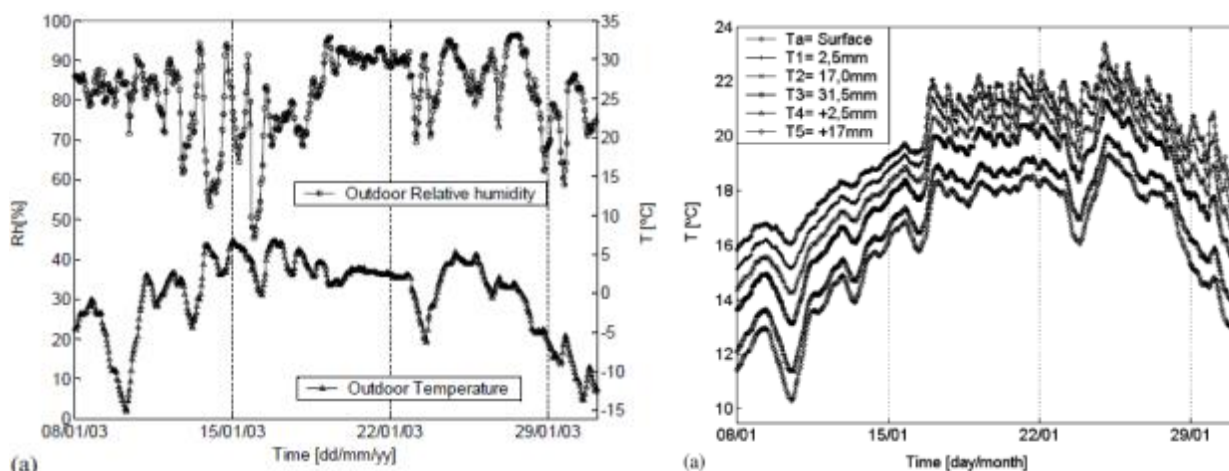


図 3-165 左：屋外の相対湿度と気温の変動、右：壁面からの距離別屋内気温



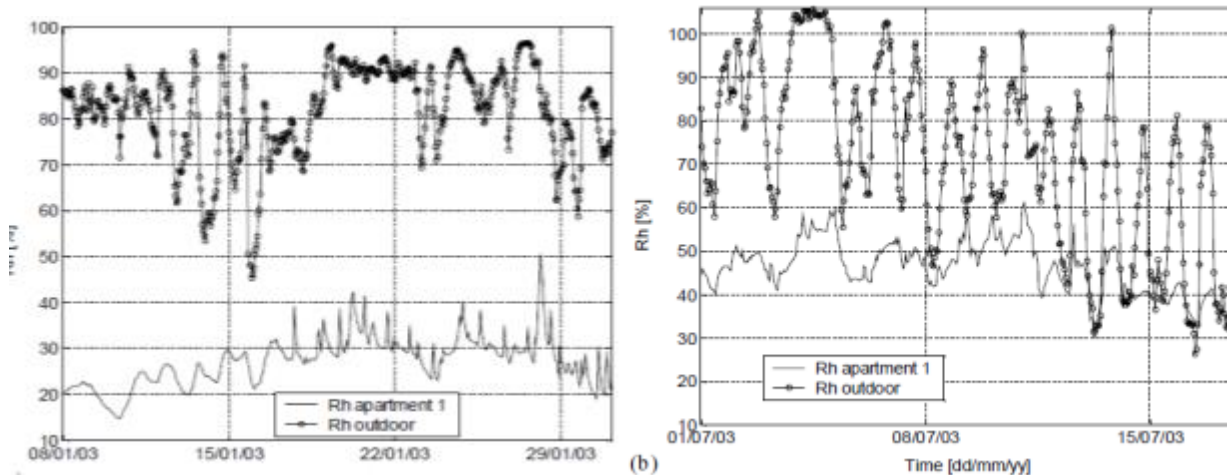


図 3-166 屋外の相対湿度変化と室内の湿度変化 (左：冬季、右：夏季)

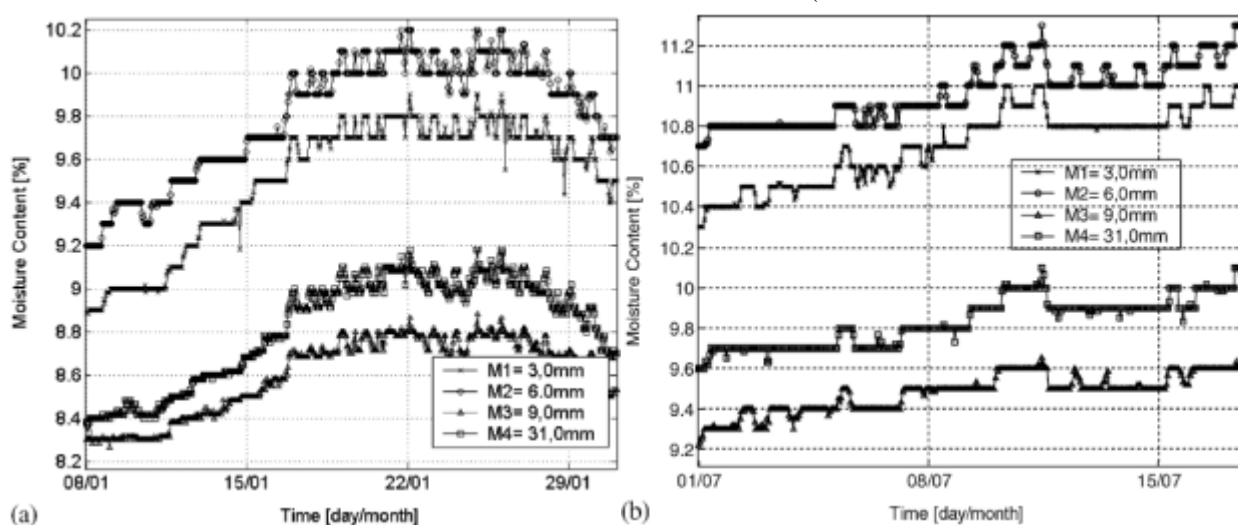


図 3-167 含水率変動 (左：冬季、右：夏季)

室内の相対湿度については、木材の使用が日々の湿度変動を減らすと証拠づけることはできなかった。夏場の室内相対湿度は快適な範囲とされる 30~60%の値に概ね保たれたが、冬場の室内相対湿度の平均は常に 30%を下回る値となった。しかし、これは木材内の水分の拡散メカニズムに基づくものであり、周辺の空気の湿度と木材の含水量を揃えた条件では室内の相対湿度は快適とされる範囲内で変化する。

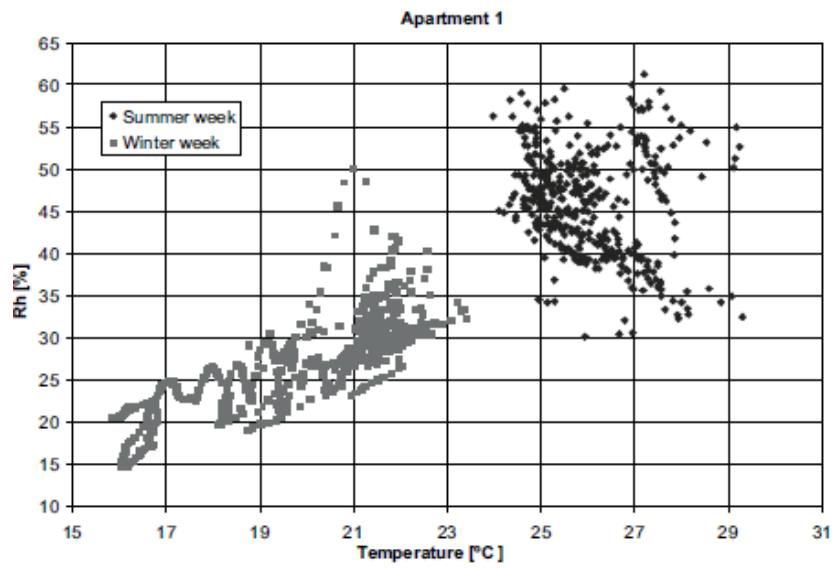


図 3-168 相対湿度と気温のプロット (実験を行った4部屋のうち1部屋の結果)