調査研究報告　　No. 436
RESEARCH REPORT 2023. 3

北海道の木造建築物の $LCCO_2$ 算出に関する研究

Study on $LCCO_2$ Calculation for Wooden Buildings in Hokkaido

廣田　誠一[1)]、糸毛　治[2)]、齊藤　隆典[3)]、北谷　幸恵[4)]、高島　将人[5)]
Tomohito Hirota[1)], Osamu Itoge[2)], Takasuke Saito[3)], Yukie Kitadani[4)], Masato Takashima[5)]

地方独立行政法人北海道立総合研究機構
建築研究本部
北方建築総合研究所
Northern Building Research Institute
Building Research Department
Local Independent Administrative Agency Hokkaido Research Organization

1)建築研究部　部長・博士（工学）　2) 建築研究部建築システムＧ　研究主幹・博士（工学）　3) 建築研究部建築システムＧ　主査・博士（工学）　4) 建築研究部環境システムＧ　主査・博士（芸術工学）　5) 建築研究部建築システムＧ　研究職員
1) Director of Building Research Division .Dr.(Eng.) 2) Senior Research Manager of Building Engineering System Group.Dr.(Eng.) 3) Chief for Building Engineering System Group.Dr.(Eng.) 4) Chief for Environment System Group. Dr.(Des.) 5) Researcher of Building Engineering System Group.

本書の全部および一部の無断での転載はご遠慮ください。

No unauthorized reproduction

概　要
Abstract

北海道の木造建築物の $LCCO_2$ 算出に関する研究
Study on $LCCO_2$ Calculation for Wooden Buildings in Hokkaido

廣田　誠一[1)]、糸毛　治[2)]、齊藤　隆典[3)]、北谷　幸恵[4)]、高島　将人[5)]
Tomohito Hirota[1)], Osamu Itoge[2)] , Takasuke Saito[3)], Yukie Kitadani[4)], Masato Takashima[5)]

キーワード ***：*** *$LCCO_2$、木造建築物、CO_2 排出量*
Keywords : *Life cycle,CO_2, Wooden buildings, CO_2 emission,*

１．研究概要

１）研究の背景

・国では公共建築物等木材利用促進法を改正し、対象を公共建築物から民間建築物にも拡大する等、建築物の木造化を強力に推進している。

・民間企業では、道内において小売り店舗の木造化や、自社ビルを小径流通木材で建築する事例が増えてきており、ESG 投資評価やカーボンプライシング等への先んじた対応が始まっている。

・道では北海道地球温暖化対策推進計画（第 3 次, R3.3）において「ゼロカーボン北海道」を目指すこととし、「道産木材の活用と住宅のゼロエネルギー化」をテーマに検討を進めている。

・建築分野では建設・製造に伴う CO_2 排出量が少ない木造建築物の普及が重要となっており、道産木材や道内流通の建材を活用した木造建築物のライフサイクル CO_2（$LCCO_2$）を定量的に示すことが求められている。

２）研究の目的

・道産木材を活用した木造建築物の普及を推進するため、北海道の実態を踏まえて、木造建築物のライフサイクル CO_2（$LCCO_2$）を算出する。

２．研究内容

１）道内流通建材等の CO_2 排出原単位に関する文献調査（R4 年度）

・ねらい：既往の文献等から建築材料（道産木材を含む）の製造実態を踏まえた CO_2 排出原単位を把握する。

・試験項目等：原単位に関する調査、EN など海外文献の調査

２）木造建築物の $LCCO_2$ の算出（R4 年度）

・ねらい：既往の算出プログラムを用いて、既存データベースと 1)で整備した CO_2 排出原単位に図面、積算資料等から求めた部材の使用量を掛け合わせて、北海道で建設された既存木造建築物の $LCCO_2$ を算出する。

・試験項目等： 図面などの分析、プログラムによる建築物の $LCCO_2$ 算出

[1)] 建築研究部　部長・博士（工学） [2)] 建築研究部建築システム G 研究主幹・博士（工学） [3)] 建築研究部建築システム G 主査・博士（工学） [4)] 建築研究部環境システム G 主査・博士（芸術工学） [5)] 建築研究部建築システム G 研究職員
[1)] Director of Building Research Division .Dr.(Eng.) [2)] Senior Research Manager of Building Engineering System Group.Dr.(Eng.) [3)] Chief for Building Engineering System Group.Dr.(Eng.) [4)] Chief for Environment System Group. Dr.(Des.) [5)] Researcher of Building Engineering System Group.

3．研究成果

1）道内流通建材等の CO_2 排出原単位に関する文献調査（R4 年度）

・既往の研究から、道内事業者による乾燥製材、集成材、合板などの製造時の CO_2 排出原単位を把握した。また、各データベースにおける製材に関する原単位の比較を行った。

・道央圏及び上川地域の廃棄物の種類別のリサイクル率、最終処分率、運搬経路などの情報から、$LCCO_2$ 算出のための情報を整理した。

・ISO や JIS、EN などの規格を調査し、LCA に関する計算方法、考え方等について把握した。

2）木造建築物の $LCCO_2$ の算出（R4 年度）

・既往の算出プログラム（MiLCA）を用いて、既存データベースと 1)で整備した CO_2 排出原単位に、木造公営住宅（１棟４戸）の図面及び積算資料等から求めた部材の使用量を掛け合わせて $LCCO_2$ を算出した。

・$LCCO_2$ 算出に必要な各種条件設定は、建設時、運用時、解体廃棄時それぞれについて、表１及び表２の設定方法により、$LCCO_2$ の値を算出する方法を示した。

・本州産製材と道内産製材の CO_2 排出量について、製造時は道内産製材の方が CO_2 排出量は多いが、トラック輸送時では本州産製材の方が排出量は多くなり、合計すると道内産製材より本州産製材の方が２倍近く排出量の多いことが明らかになった（表 3）。

・木造公営住宅の $LCCO_2$ を算出した結果、総排出量は 741t-CO_2e で、建設時と運用時の排出量は同程度であった（図 1）。建設時の内訳から、基礎工事と内外装工事における排出量が多いことが明らかになった(図 2)。基礎工事については主にコンクリートと EPS 断熱材から、内外装工事については、主にせっこうボードからの排出量が多かった（図 3)。基礎が特殊な工法だったことも考慮したうえで、削減する方法の検討が必要である。

＜具体的データ＞

表１　$LCCO_2$ 算出に必要な各種条件の主な設定方法

建設時	積算項目の数量	・該当する LCA データベースの項目の数量に合わせる作業を行った上でプログラムへ入力
	運搬	・各材料の数量の単位を重さに変換した上で、道内で生産されているものは 100km、道外から運搬するものは 1,200km の距離を 10t トラックで輸送するとして入力
運用時	積算方法	・エネルギー源の CO2 排出原単位の変化は見込まず、設備機器の効率向上のみを考慮する設定とする
	エネルギー消費量	・環境省の調査データを使用して設定
	修繕・改修	・築後 30 年で長寿命化改修を実施する設定
解体廃棄時	廃棄物の数量	・他の研究調査結果を参考に、道央圏の産業廃棄物のリサイクル率や最終処分率に基づき設定（表２）
	廃棄物の運搬距離	・他の研究調査結果を参考に、道央圏の産業廃棄物の運搬距離調査から設定（表２）

表２　廃棄物のリサイクル率と最終処分量

分　類	最終処分率	リサイクル率	減量化率
ガラス	70%	30%	0%
コンクリート類	5%	95%	0%
プラスチックシート	60%	30%	10%
塩化ビニル樹脂	85%	5%	10%
汚泥	40%	30%	30%
金属くず	5%	95%	0
建設混合廃棄物	70%	30%	0
紙くず	10%	50%	40%
石膏ボード類	40%	60%	0
廃プラスチック類	20%	70%	10%
発泡ポリスチレン	70%	30%	0
木くず	5%	95%	0

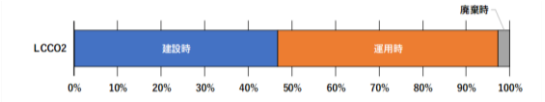


図１　$LCCO_2$ の内訳

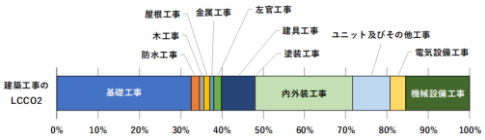


図２　建設時の $LCCO_2$ の内訳

表３　道内外産製材の製造時及び運搬時の CO_2 排出量の比較

材料	輸送方法	CO_2排出量[kg-CO_2e]		
		材料製造時	輸送時	合計
一般製材 20 m^3 (12t)	10tトラック輸送 1,200 km	1,820	3,970	5,800
	コンテナ船輸送 1,200 km	1,820	389	2,210
道産製材 20 m^3 (12t)	10tトラック輸送 100 km	2,980	331	3,310

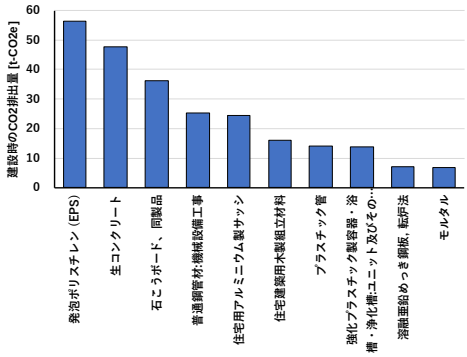


図３　建設時の CO_2 排出量の上位項目

4．今後の見通し

建築物の $LCCO_2$ の算出を行うことが可能となった。今後、構造の違う建築物や産地別の算出を行い、道内産の優位性を示すために活用していく。

目　次

1．研究の目的 1

2．道内流通建材等の CO2 排出原単位に関する文献調査 1
（１）関連規格の整理 1
（２）既往論文等のレビュー 2

3．木造建築物の $LCCO_2$ の算出 5
（１）算出物件の概要（植苗中央団地 B-1 棟） 5
（２）評価範囲の設定と算出方法 8

4．$LCCO_2$ の算出結果（環境影響評価） 10

5．考察 11

6．$LCCO_2$ の算出についての課題 12

１．研究の目的

国では、公共建築物等木材利用促進法を改正し、対象を公共建築物から民間建築物にも拡大する等、建築物の木造化を強力に推進している。また、道では北海道地球温暖化対策推進計画（第 3 次, R3.3）において「ゼロカーボン北海道」を目指すこととし、「道産木材の活用と住宅のゼロエネルギー化」をテーマに検討を進めている。

この様な施策を受けて、民間企業においては、小売り店舗の木造化や、自社ビルを小径流通木材で建築するなどの事例が増えてきており、ESG 投資評価やカーボンプライシング等への先んじた対応が始まっている。

これらの動きに対応するために、建築分野では、建設・製造に伴う CO_2 排出量が少ない木造建築物の普及が重要となっており、道産木材や道内流通の建材を活用した木造建築物のライフサイクル CO_2（$LCCO_2$）を定量的に示すことが求められている。このため、北海道の実態を踏まえて、木造建築物のライフサイクル CO_2（$LCCO_2$）を算出する。

２．道内流通建材等の CO_2 排出原単位に関する文献調査

（１）関連規格の整理

①14000 シリーズについて

ISO の 14031 から 14050 では、「環境マネジメント」に関して記載されており、そのなかで ISO 14040：2006　Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework（JIS Q 14040:2010 環境マネジメント－ライフサイクルアセスメント－原則及び枠組み）では、ライフサイクルマネジメント（以下、LCA と表記する）の原則と枠組みを規定している。

LCA の枠組みは、図 2-1 のとおりで、第一段階として「LCA の目的及び調査範囲の設定」、第二段階として「ライフサイクルインベントリ分析（以下、LCI と表記する）」、第三段階として「ライフサイクル影響評価（以下、LCIA と表記する。）」、最終段階として「ライフサイクル解釈」となっている [1)]。本研究では、第 1 段階から第 3 段階までを対象とし、第 2 段階と第 3 段階については LCA 算出ツール MiLCA を用いて行った。

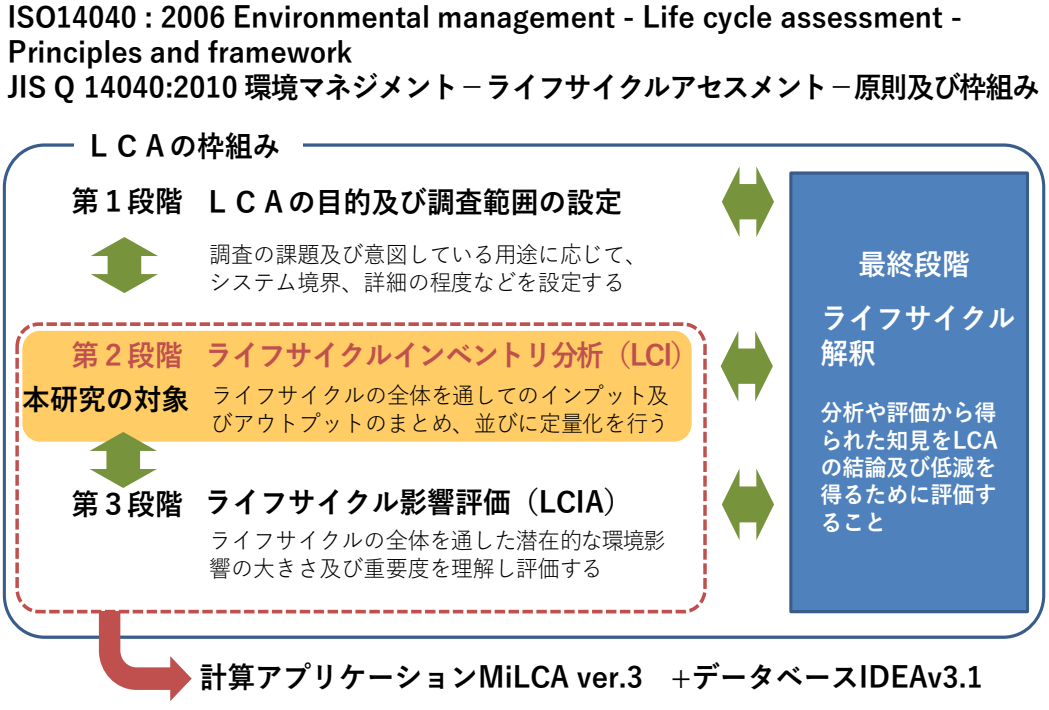


図 2-1　LCA の枠組み

ISO 14020 から 14025 では、「環境ラベル」が記載されており、その製品などがいかに環境に配慮したものかを表示する方法が記載されている。例えば 14025 環境ラベル及び宣言-タイプⅢ環境宣言-原則及び手順（Environmental Product Declaration (EPD)）の目的は、「製品の環境側面に関しての検証可能かつ、正確で誤解を招かない情報のコミュニケーションを通じて、環境負荷の少ない製品の需要及び供給を促進することであり、それによって、市場主導の継続的な環境改善の可能性を喚起することである」と記載されている。カーボンフットプリント(CFP)やエコリーフ環境ラベルなどはこの規格に従ってつくられている。なお、エコリーフ環境ラベルは CFP プログラムなどと統合し、「SuMPO 環境ラベルプログラム」として一般社団法人サスティナブル経営推進機構が運用を行っている。

建築の建材などでカーボンフットプリントなどの宣言の実績は、令和 5 年 3 月現在、土木・建築関連で 189 件となっているが、例えば、断熱材では、吹込み用セルローズファイバーの 1 件、サイディングでは日鉄鋼板の金属サイディングが 1 件であるなど実績はほとんどないのが現状である。

道内の事業者からの宣言を期待したいが、宣言の手順が複雑なため中小企業にはハードルが高いと言える。課題としては、そのような事業者に対して、研究機関がインベントリ調査をサポートし原単位を公表するなどの対応が必要と考える。

②その他の規格について

14000 シリーズ以外の規格では、JIS Q 13315-1、13315-2、13315-3 にコンクリート及びコンクリート構造物のための環境マネジメントがある。これらには、コンクリート又はコンクリート構造物の LCA を実施するための方法について記載されている。

ISO 14404 には、製鉄所から算出される CO_2 排出量・原単位の計算方法が、ISO 20915 には鉄鋼製品の LCI の計算方法がそれぞれ記載されている。ISO 20915 は鉄鋼製品のリサイクルを考慮しているが、工業製品（建築部材）の製造はシステム境界に含まれていない。

断熱材は、環境負荷や CO_2 排出に関係する ISO 規格を見つけることができなかった。ただし LCA について記載された文章がインターネット上で散見されることから、各社が独自の方法で積み上げを行っているものと推察される。

・鉱物繊維系

ロックウール工業会が 2017 年に公表した「住宅用ロックウール断熱材のライフサイクル CO_2 排出量算定結果」の中で、LCA 評価に用いる住宅用ロックウール断熱材の「原材料採取～製品製造」時に発生する CO_2 排出量等が示されている（表 2-1）

表 2-1　住宅用ロックウール断熱材 1 ㎥あたりの LCA インベントリデータ

CO_2 排出量	[kg-CO_2/m^3-RW]	30.3
GHG 排出量	[kg-CO_2e/m^3-RW]	30.6

・発泡プラスチック系

ウレタン原料工業会が 2003 年に「ポリウレタン原料のインベントリ分析」を発行している。対象品目は、MDI、TDI、軟質用・硬質用ポリオールの 4 品目である。

プラスチックの LCA 調査方法については JIS Z 7121「プラスチックの循環的利用段階を含むライフサイクルインベントリ調査方法」に示されていたが、対応する ISO はなかった。

（2）既往論文などのレビュー

原単位については、「木材分野の LCA 文献レビュー [2)]」に $LCCO_2$ 算出に関する論文が記載されている（表 2-2)。

また、一重により行われた「国産の丸太・製材および製材残材のエネルギー利用を対象としたライフサイクルアセスメントに関する研究 [3)]」に既往 LCA の事例がまとめられていたので、以下に抜粋する。

表 2-2　木材分類の LCA 文献一覧（出典：Journal of Life Cycle Assessment, Japan,Vol.10 No.4 October 2014 [2)]）

報告書（木材・木質材料_国内）					
著者	年	報告書名		発行機関	
環境低負荷型木質資源利用促進調査委員会	1999	環境低負荷型木質資源利用促進調査		林野庁	
林業機械化協会	2007	木材のライフサイクルインベントリに関わる林業機械の二酸化炭素排出量調査報告書		林業機械化協会	
東京産木材による木造住宅のLCA調査実行委員会	2007	地産地消型木造住宅のLCA調査報告書 -木材及び木質材料の比較を中心として- 改訂版		東京産木材による木造住宅のLCA調査実行委員会	
論文（木材・木質材料_国内）					
著者	年	タイトル	掲載誌	巻(号)	頁
丸太					
岩岡ら	2008	木材生産作業のエネルギー消費と二酸化炭素排出量（前編）	機械化林業	654	1-7
岩岡ら	2008	木材生産作業のエネルギー消費と二酸化炭素排出量（後編）	機械化林業	655	1-6
古俣ら	2009	カラマツ丸太生産におけるCO_2排出のインベントリ分析	日本LCA学会誌	5(1)	131-137
仲畑ら	2011	林業作業におけるCO_2排出量算定と収支分析－栃木県の林業事業体を対象として－	森林利用学会誌	26(3)	187-194
一重ら	2013	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
製材					
能本ら	2005	木材生産を通した炭素の収支分析 －福岡県八女地域を事例として－	日本森林学会誌	87(4)	313-322
山内ら	2009	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_2排出原単位及び木造住宅におけるCO_2排出量の算出	日本建築学会環境系論文集	74(645)	1261-1267
川鍋ら	2010	木造住宅の国産・輸入製材の生産から施工地輸送までの二酸化炭素排出量と算定上の問題整理	日本建築学会技術報告集	16(32)	37-42
小田ら	2010	宮崎県内の製材工場におけるエネルギー消費量	木材工業	65(12)	582-585
重川ら	2011	新潟県の製材所を対象とした年間エネルギーCO_2排出量 木材の地産地消に関する研究 その1	日本建築学会環境系論文集	76(666)	721-726
渕上ら	2012	地産地消型製材製品のプロセスの違いがカーボンフットプリントに与える影響 京都府産認証木材を事例として	日本木材学会誌	58(3)	153-162
合板					
渕上ら	2010	木材製品の製造プロセスにおけるCO_2排出量の評価 －京都府産スギ合板の地産地消によるCO_2削減効果の検証－	日本建築学会環境系論文集	75(655)	861-867
集成材					
津田ら	2006	現地調査に基づく地場産構造用集成材の環境影響評価	日本建築学会技術報告集	(24)	249-253
製材、合板、集成材					
古俣ら	2011	国産および外国産木質建築部材の生産・輸送に伴うGHG排出量	日本LCA学会誌	7(2)	175-185
方法論、データベース					
一重ら	2009	国産構造用製材のLCI実施における配分について	日本LCA学会誌	5(4)	456-461
古俣	2010	製材，集成材および合板製造における温室効果ガス排出量の算出とその方法に関する諸課題	林産試験場報	539	1-5
大城ら	2010	輸入木材のLCAデータベースの構築	日本建築学会技術報告集	16(33)	609-614
南部ら	2012	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

■丸太を対象とした評価事例

古俣らによる評価事例 [4)]では、北海道でのカラマツ丸太生産について、林業事業体への聞き取り調査と施業モデルの設定により 1 m^3 あたりの CO_2 排出量を算出し、地拵えに重機を用いないことや、主伐までの密度管理は疎で行うことが CO_2 排出の削減に有効と提言している。仲畑らは、収穫作業における大型機械の導入や車両系システムによる集材作業における搬出距離の増加が CO_2 排出量の増加を招くと指摘している。

■製材を対象とした評価事例

日本では製材を対象とした評価事例は比較的多い。ただし、外材の製造工程におけるフォアグランデドデータに地産地消型製材工場の調査結果を用いたり、乾燥材と未乾燥材を混同して評価を行っていたりしており、結果の信頼性は必ずしも高くないと考えられる。一方、北海道の製材工場で調査を行った古俣らはカナダ、フィンランドでの製材製造工程のフォアグランドデータには基本的に北海道の工場における調査データを用いているものの、乾燥工程では木屑が燃料として用いられることが多いことを考慮して分析を行った。その結果、化石燃料を利用して乾燥した国産材製材の GHG 排出量は、木屑燃料を利用して乾燥したフィンランド産の乾燥製材より小さいが、木屑燃料を利用して乾燥したカナダ産の乾燥製材よりは大きいことを示しており、国産材と外材の環境側面から見た優位性についてのより確度の高

い評価結果であると考えられる。

■木材を対象としたライフサイクルアセスメントの方法論に関する議論

木材に固定されている炭素は樹木の生育過程で大気中から吸収したものであるため、それらが再び大気中へ放出されたとしても大気中の CO_2 濃度を増加させる効果がないことからカーボンニュートラルと扱われることが多い。しかし橋本らは、バイオマス起源の CO_2 はバイオマス製品の評価結果に占める位置が大きいことからインベントリに含めるべきであり、化石燃料起源の CO_2 と区別して表記することが望ましいと述べている。

木材の LCA を実施する際のカットオフ基準についても十分に検討されていない。古俣は木材の LCA の実施における課題として、フォアグランドデータの収集項目を挙げている。これまでの調査では、梱包用資材や木材の加工機械で消費される潤滑油、工業用水の消費量は把握されていないことがほとんどであり、結果にどの程度の影響を及ぼすか明らかでないためである。

木材の LCA においては配分方法の取り扱いも重要な課題と言える。森林で生産された丸太を原料として、製材や合板などの木材・木質材料を製造する際には、多量の工場残材が発生し、それらはエネルギー源や製紙原料などの様々な用途に利用されている。木材の LCA において採用された配分方法は、物量基準と価格基準のものがあり、国内の事例では全く考慮されないことがほとんどである。

■既往研究の総括

木材を対象とした LCA への取り組みは徐々に進んでいるものの、配分方法やカットオフ基準といった方法論はほとんど配慮されていない。そのため、それらの違いが結果にどの程度の影響を及ぼすか明らかでなく、どの様に取り扱うべきか判断し難い状況にある。

具体例として、技術報告書 TR 14049 は、インベントリ分析とライフサイクル影響評価の具体的事例等を集積し、示すことにより 14041 と 14042 のそれぞれの内容理解を促進することを目的として作られたものである。原単位を精査する上では有用になると考えられる。目次を以下に示す。

【TR 14049（インベントリ分析)】
- 序文
- 適用範囲
- 本技術報告書の構成
- 機能、機能単位及び基準フローの設定に関する事例
- システムを比較する場合の機能の特定に関する事例
- 単位プロセスの入力、出力及び境界の設定に関する事例
- 配分の回避に関する事例
- 配分操作に関する事例
- リサイクルに対する配分操作の事例
- データ品質評価の実施に関する事例
- 感度分析の実施に関する事例

3．木造建築物の $LCCO_2$ の算出

（1）算出物件の概要（植苗中央団地 B-1 棟）

$LCCO_2$ の算出は、道営の植苗中央団地 B-1 棟を対象に実施した。図面及び設計内訳書、土・地業工事施工計画書は道庁から入手した。本団地の概要を表 3-1 に示す。また、平面図、立面図、断面図を図 3-1～3-3 に示す。

本団地の特徴としては、敷地の地盤が軟弱なため、特殊なべた基礎工法を採用していることが上げられる。

表 3-1　植苗中央団地 B-1 棟の概要

物 件 名	植苗中央団地 B-1 棟
建 設 地	苫小牧市字植苗 50-30 の内ほか
用　　途	共同住宅
構造規模	木造　平屋建て
敷地面積	1273.08 m^2
建築面積	317.71 m^2
延床面積	280.44 m^2

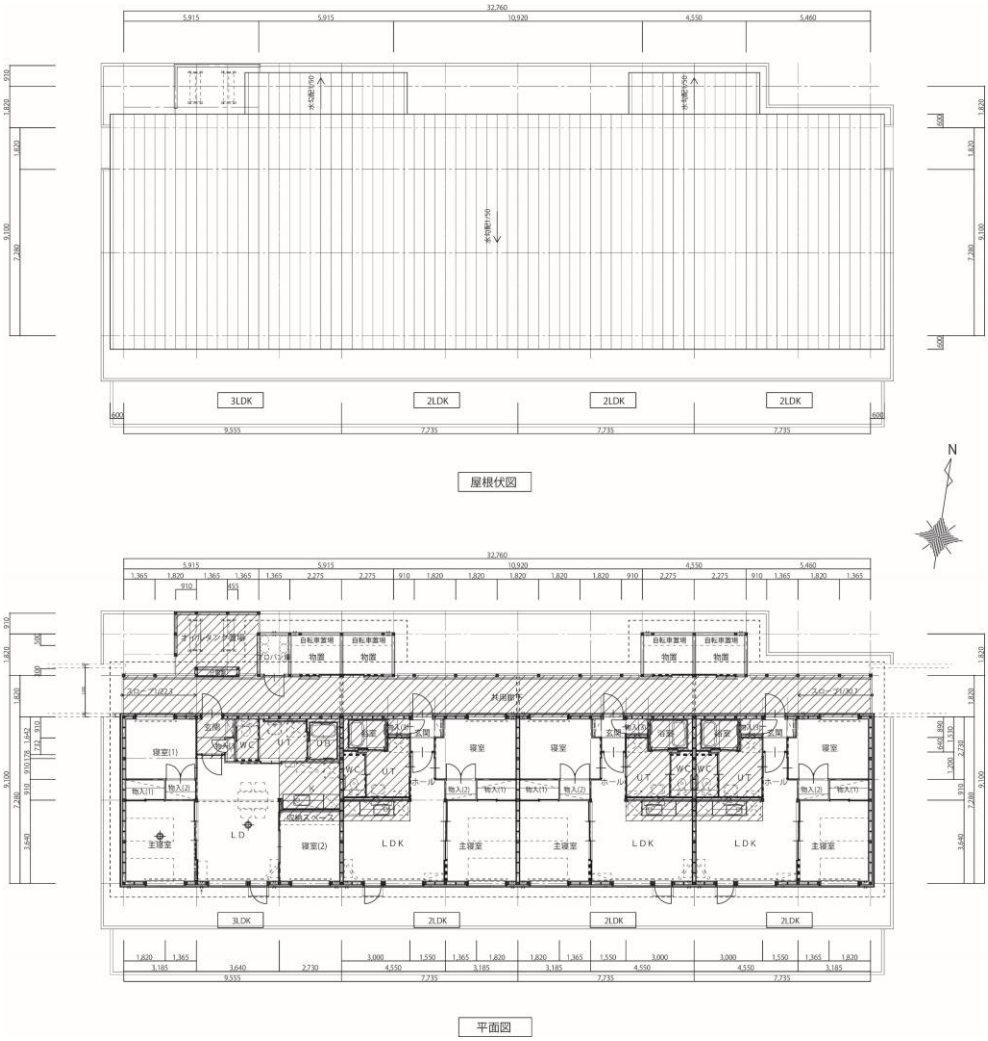


図 3-1　植苗中央団地 B-1 棟の平面図と屋根伏図

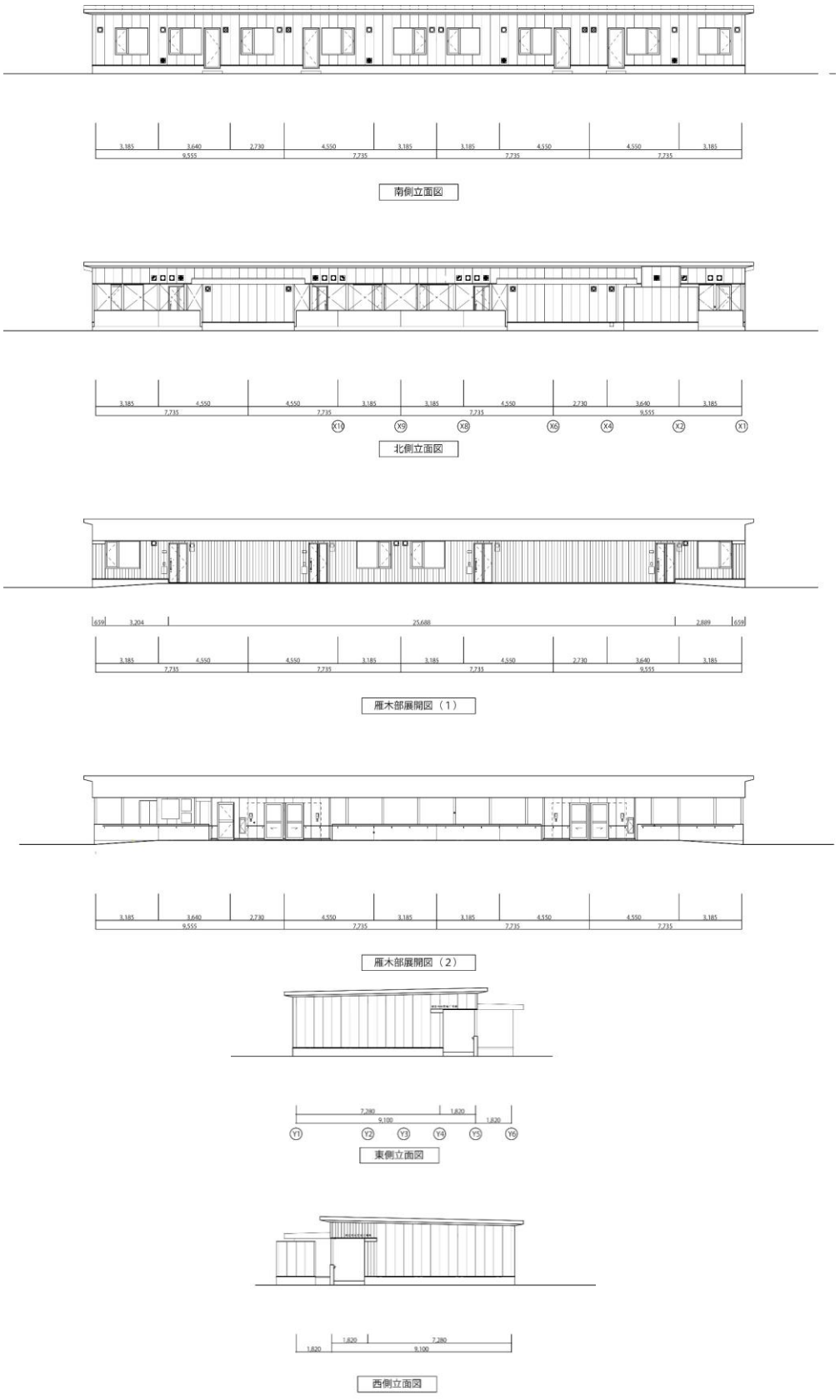


図 3-2　植苗中央団地 B-1 棟の立面図

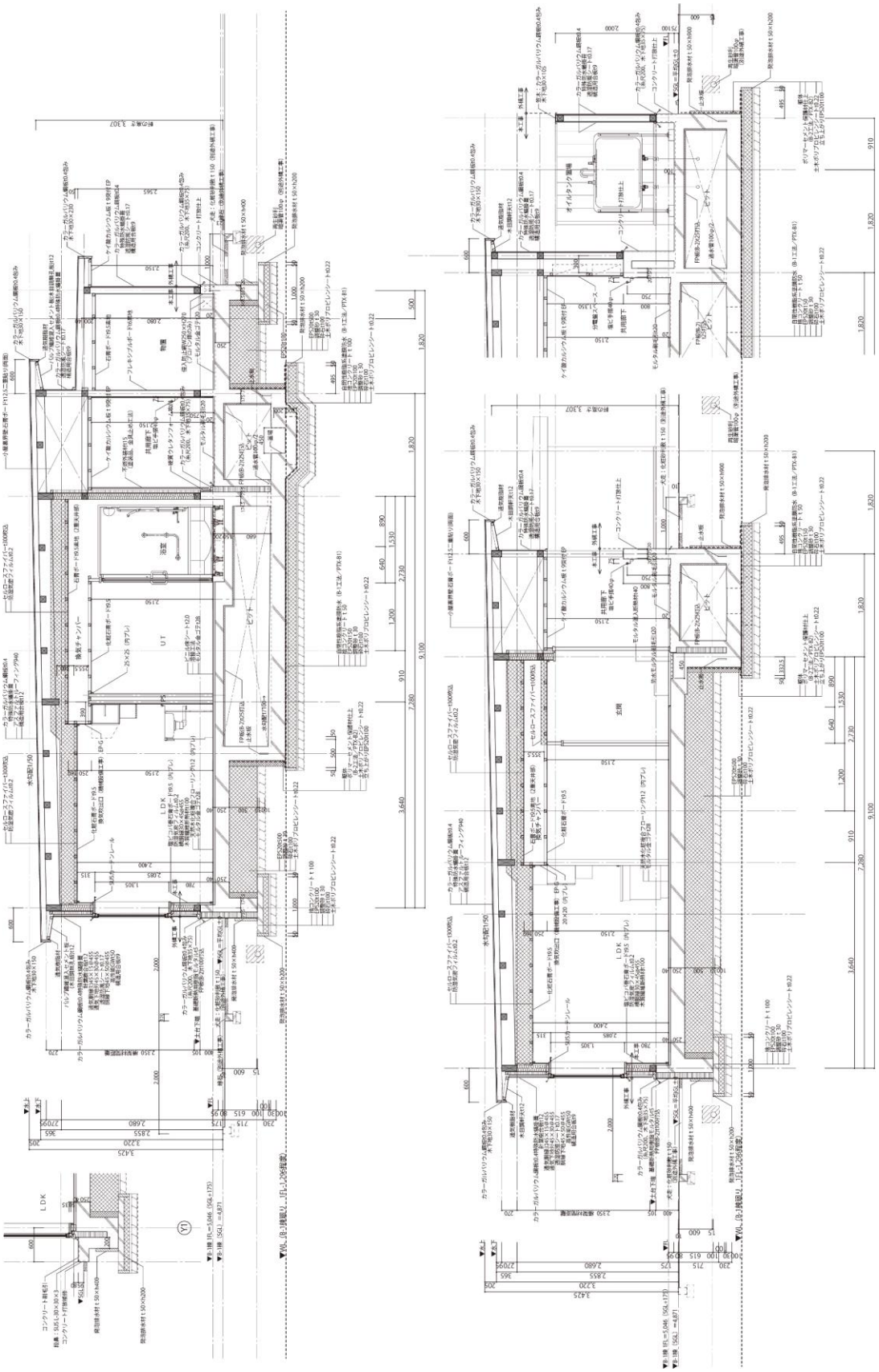


図 3-3　植苗中央団地 B-1 棟の矩計図

（２）評価範囲の設定と算出方法

１）システム境界

システム境界を図 3-4 に示す。「建設時」は、建材の製造と現場への運搬を計上した。「運用時」は、全ての住戸に入居者が居るとしてその生活に伴うエネルギー使用量を５０年の期間計上した。また、３０年経過時に長寿命化のための改修を行うこととした。「解体・廃棄時」は、解体により生じた廃棄物を処理し運搬し廃棄するところまでを計上した。

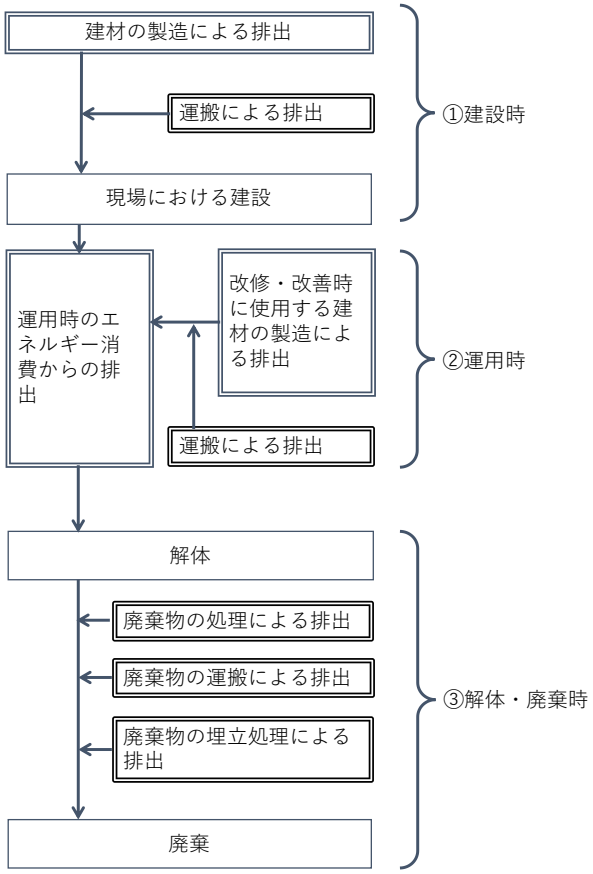


図 3-4　システム境界

２）プロセスの設定条件と LCCO2 算出方法

①建設時

A. 建材・材料の設定

設計内訳書に記載されている内容の分類は、建築工事として「基礎工事」「防水工事」「木工事」「屋根工事」「金属工事」「左官工事」「建具工事」「塗装工事」「内外装工事」「ユニット及びその他工事」の１０項目とし、その他、「機械設備工事」「電気設備工事」とした。

それぞれの細目別内訳に示されている項目に対し、LCA データベースの項目を割り当てて、その数量を合計しプログラムへ入力した。なお、現場での作業に伴う CO_2 排出量は見込まないこととした。

細目別内訳の項目が LCA データベースと合わない場合は、製造過程の近いものを選定した。例えば金属を用いた建材では、床点検口やカーテンレール、吊りボルトなどは「建築金物の製造」を選択した。また、グラスウールは「ガラス短繊維・同製品の製造」などとした。今回使用した対応表を巻末の表 3-2 に示す。

建材・材料のうち、既存のデータベースに無く、道内で生産されているものについては、既往の文献から、道産木材を用いた「製材」及び「合板」については、古俣らが調査したデータを基に CO_2 排出原単位を設定した [5)]。

サッシのうち、樹脂サッシについては、IDEA データベースに無いため、複合原単位を作成した。「樹脂サッシテラスドア 780×2070 ペアガラス」については、既存の樹脂サッシの枠部分の断面積をカタログ図面から求め、サッシの樹脂部分の重量を算出し「塩化ビニル型材、断熱サッシ用」の原単位を掛け合わせた。これらに板ガラス、ゴムパッキンの量と原単位を掛け合わせて合計し複合原単位とした。「樹脂サッシ引違い 1713」についても同様の方法を用いた。

B. 運搬の設定

建材・材料の運搬については、運搬距離の設定を道内で生産されている建材等については、10t トラックで 100 km 運搬することとし、復路の影響を見込み積載率 62%とした。それ以外の建材等については、道外で生産されいていると仮定し、運搬距離は 1,200 km、道内と同じく復路の影響などを見込んだ。

道内で生産されているとした建材等は、道産木材、プラスチック系断熱材、せっこうボード、グラスウ

ール、塩ビ管、内装プレハブとした。

運搬による CO_2 排出量は、MiLCA では、その建材などの単位が重さ（t、kg 等）でなければ、算出対象とされないため、重量に換算できるもののみ計上した。

プログラム上では、サブシステムに対し「入力中間フロー（未登録）」を使って重さ単位で運搬の入力を行った。

価格が既知で重さを想定できるものとして、せっこうボードは 126 円/kg で、一般製材は 7 万円/m^3、117 円/kg、構造用合板は 483 円/kg、針葉樹合板は 372 円/kg で換算した。

②運用時の設定

運用時のエネルギー消費については、初期値は令和 3 年の環境省による、「家庭部門の CO_2 排出実態統計調査」の値を用いた。その後のエネルギー消費量は、10 年経過毎に計上することとし、電気、都市ガス、灯油、上下水道については、最初の 10 年後に設備機器の効率向上を見込み消費量を 20%減に設定した。20 年以降は、電気については、その後の効率向上を見込まず、運用終了まで初期値の 20%減の値を用いた。都市ガス及び灯油については、20 年後に電気への転換が行われると想定し、使用しないこととした。上下水道については最初の 10 年後に 20%の効率向上の後は変化なしとした（表 3-3）。

表 3-3　運用時のエネルギー消費量の設定

	電気	都市ガス	灯油	上下水道
1～10 年	2,400kWh/戸・年	150m^3/戸・年	400L/戸・年 ※	50m^3
11～20 年	1,920kWh/戸・年	120m^3/戸・年	320L/戸・年 ※	40m^3
21～30 年		使用しない	使用しない	
31～40 年				
41～50 年				

※環境省：家庭部門の CO_2 排出実態統計調査

維持管理・修繕については、木造公営住宅の耐用年数である 30 年経過時に長寿命化改修を実施(屋根と外壁面鋼板の張り替え、木部などの塗装、給排水管の補修）した。

③解体・廃棄時の設定

解体・廃棄時に発生した廃棄物の最終処分とリサイクルの割合については、令和 4 年度に当所で実施した最終処分ゼロを目指した建設廃棄物の発生実態に関する調査において電子マニフェスト等を分析した結果を採用した。表 3-5 に主な廃棄物の種類と最終処分、リサイクル、減量化の割合を示す。

表 3-4　材料・建材等の価格から重量への換算係数

材料・建材等	換算単価	
内装	800	円/kg
金物製品	1,000	円/kg
建具など	5,000	円/kg
プラ	4,000	円/kg

プログラム上で見込んだ要素は、産廃処理サービスとして「廃プラスチック」「ガラス・コンクリート・陶磁器くず」「建設業・製造業・工業等無機性汚泥」「金属くず」「木くず」の 5 種類とした。なお、建設混合廃棄物は IDEA のデータベースに原単位が無いため「建設業・製造業・工業等無機性汚泥」に分類されるものとした。

廃棄物の量は、設計内訳書に記載の建材等を重量に換算しなければならないため、表 3-4 に示す換算係数を作成し換算した。なお、建材により価格と重量の比率は変わるが、ここでは、見込まない方が影響が大きいと考え、仮に想定して換算した。

廃棄物の最終処分率とリサイクル率は、当所の既往の研究から表 3-5 に示す設定とした。

これらのことから、表 3-6 に示すとおり、廃棄物の量を算出し、廃プラスチック類は計 701kg、ガラス・コンクリート・陶磁器くずは 434t、建設混合廃棄物は 9,550kg、金属くずは 1,799kg、木くずは 16.4t 発生するとした。

最終処分の分は「埋立処理サービス」の原単位を

用いた。リサイクルの分は「再利用原料」の原単位を用いたが、この原単位は CO_2 排出量は 0 の設定である。

4．$LCCO_2$ の算出結果(環境影響評価)

環境影響評価は、気候変動を対象とし、100 年の影響を算出した。なお、出力は、本建物がライフサイクルで発生する GHG を IPCC（2013）で設定された地球温暖化係数を使用して CO_2 に換算した値とした。この結果、$LCCO_2$ は 741 t-CO_2e となった。巻末の図 4-5 に $LCCO_2$ 算出のケーススタディの体系を示す。

各段階の割合を図 4-1 に示す。建設時と運用時は同程度でこれらが全体の 97%を占めていた。

解体廃棄時はリサイクル率が高いことから少ない結果になった。

図 4-2 に建設工事の各項目の割合を示す。基礎工事が 3 割以上を示しており、次いで内外装工事、機械設備工事となった。全工事項目別の CO_2 排出量を図 4-2 に示す。最も多かったのはプラスチック系断熱材で 56.3t、次いで生コンクリートの 47.6t、せっこうボードの 36.1t と続いた。

運用時の CO_2 排出量の内訳を図 4-4 に示す。運用エネルギーは今後の設備機器の高効率化、太陽光発電などの創エネの利用、CO_2 排出量の少ない発電などにより改善していくと考えられる。一方、改修時の排出量も少なくないため可能な限り耐久性の高い材料を用いることが必要となる。

表 3-5　廃棄物の最終処分等の割合

分　類	最終処分率	リサイクル率	減量化率
ガラス	70 %	30 %	0 %
コンクリート類	5 %	95 %	0 %
プラスチックシート	60 %	30 %	10 %
塩化ビニル樹脂	85 %	5 %	10 %
汚泥	40 %	30 %	30 %
金属くず	5 %	95 %	0 %
建設混合廃棄物	70 %	30 %	0 %
紙くず	10 %	50 %	40 %
石膏ボード類	40 %	60 %	0 %
廃プラスチック類	20 %	70 %	10 %
発泡ポリスチレン	70 %	30 %	0 %
木くず	5 %	95 %	0 %

表 3-6　材料・建材等の廃棄物量の算出

材料・建材等	廃棄物種類	元の単位		重さ換算		リサイクル率[%]	最終処分率[%]	リサイクル量[kg]	最終処分量[kg]
内装パネル・流し台など	産業廃棄物	7,639,615	円	9,550	kg	0	100	0	9,550
せっこうボード	ガラス、コンクリート陶磁器くず	1,620,886	円	12,864	kg	60	40	7,719	5,146
コンクリート		189	m^3	434	t	95	5	412,031	21,686
鉄筋・鋼板など	金属くず	25,290	kg	25,290	kg	95	5	24,026	1,265
金属製品		1,798,734	円	1,799	kg	95	5	1,709	90
セルロース	木くず	1,827	kg	1,827	kg	95	5	1,736	91
木くず		22	m^3	13	t	95	5	12,631	665
		6,284,714	円	1,257	kg	95	5	1,194	63
プラ	廃プラ	2,803,491	円	701	kg	70	20	491	140

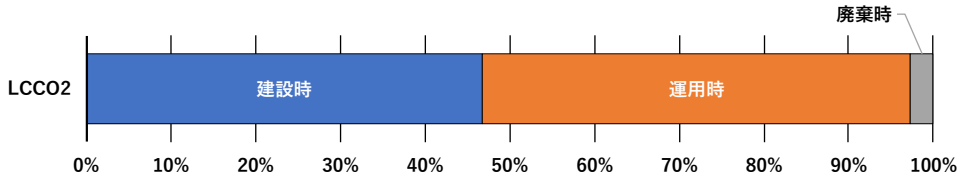


図 4-1　建設時、運用時、廃棄時の LCCO2 排出量の割合

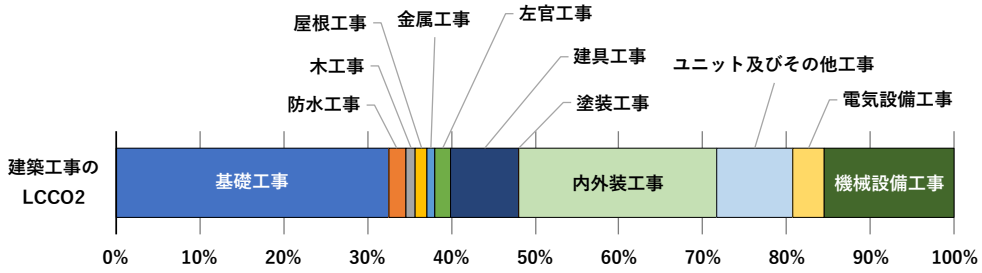


図 4-2　建設工事の各項目の割合

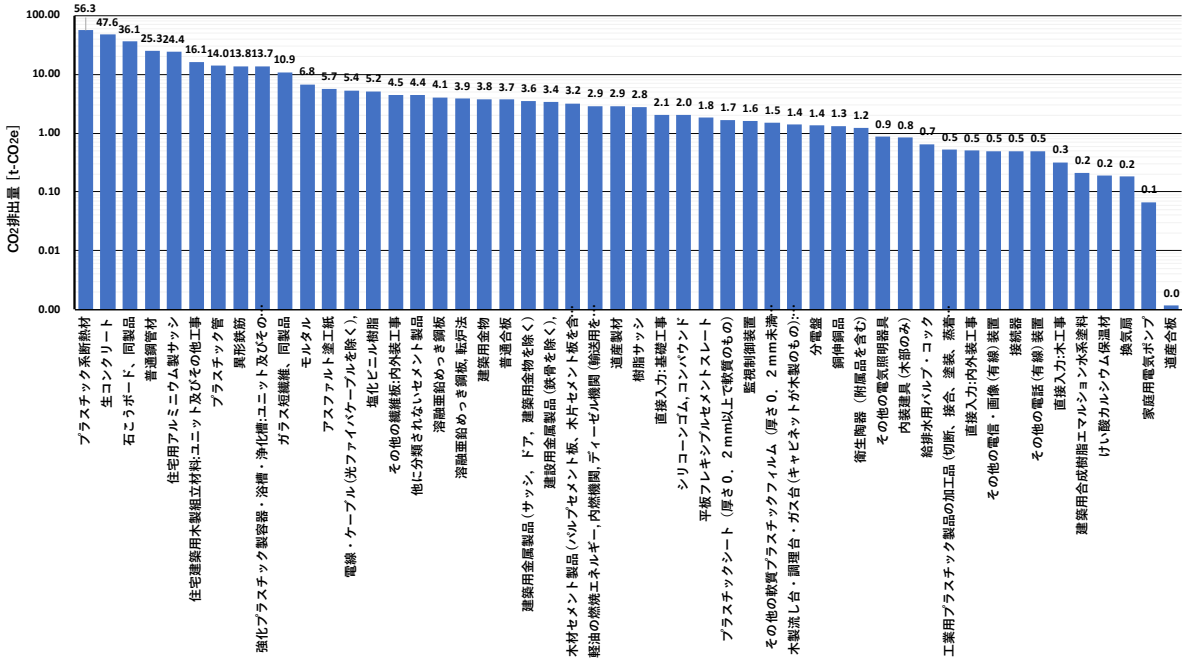


図 4-3　全工事項目別の CO_2 排出量

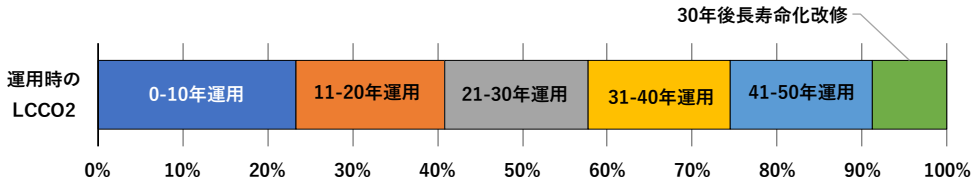


図 4-4　運用時の割合

5．考察

基礎に用いられるセメントは、石灰石等をキルン等で焼成・急冷して得られるクリンカと呼ばれる焼塊を粉砕したものに、石膏、混合材等を添加して製造される。工程中、$CaCO_3$ を主成分とする石灰石が焼成され、CaO を主成分とするクリンカになる際に CO_2 が排出されるため、通常の生コンを使用すると CO_2 排出量はかなり多い。近年は、当所でも火山灰混入セメントなどの低炭素化の研究を行っているが、CO_2 を封じ込めたコンクリートなども生産され始め

ていることから、これらに置き換えていく必要がある。

プラスチック系断熱材からの排出量が最も多いが、本物件は軟弱地盤に建設されており、基礎を特殊なべた基礎工法としている。この工法はべた基礎の底部にビーズ法ポリスチレン板を大量に使用することから、プラスチック系断熱材の使用量が嵩み、排出量が多くなったと考えられる。しかし、グラスウールなども同様であるが、熱を加えて製造される建材類は比較的排出量が多く出ていることから使用量自体を減らすかより高性能なものに置き換える必要がある。

運搬時の CO_2 排出量の影響について試算を行った。一般製材を 20m³ 道外から輸送する場合と道産製材を道内で輸送する場合の CO_2 排出量の比較を表 5-1 に示す。道外の位置は関東圏とし輸送距離は 1,200 km とした。10t トラックの場合とコンテナ船の場合を想定した。製材の製造に伴う CO_2 排出量は、一般製材は 110.3[kg-CO_2/m³]、道産の製材は 149.0[kg-CO_2/m³]とした。一般製材は 10t トラックでの運送の場合は合計 5,800kg-CO_2e でコンテナ船では 2,210kg/CO_2e と半分以下になった。一方、道産製材の場合は、材料の製造時の排出量は一般製材よりも 4 割ほど多い値であるが、合計値では下回った。

表 5-1　製材の道内外生産の CO_2 排出量比較

材料	輸送方法	CO_2排出量[kg-CO_2e]		
		材料製造時	輸送時	合計
一般製材 20 m³ (12t)	10tトラック輸送 1,200 km	1,820	3,970	5,800
	コンテナ船輸送 1,200 km	1,820	389	2,210
道産製材 20 m³ (12t)	10tトラック輸送 100 km	2,980	331	3,310

6．LCCO₂ の算出についての課題

木造公営住宅の LCCO₂ を算出した結果として得られた課題を以下に示す。

①数量拾い

・今回は見込んでいないが、歩掛の影響を考慮する必要がある。

・廃棄物量の算出を行う方法が不明確なため、確立することが必要である。

②算出方法・ルール

・作業量が大きいため、設計内訳書などから算出できる仕組みが欲しい。

・建材の運搬による影響をみるために重量換算が必要である。

・今回は見込んでいないが、職人の出勤に伴う自動車等の利用をみる必要がある。

③原単位

・IDEA データベースのうち、LCCO₂ への影響の大きな原単位の確からしさ（特に断熱材）を確認する必要がある。

・建材メーカーなどによる原単位宣言の推進。

今後は、公共建築物を中心に木造以外にも他の構造の建築物の LCCO₂ を算出し比較を行い、脱炭素社会の推進に寄与する予定である。

[参考文献]

1) JIS Q 14040 :2010 環境マネジメント－ライフサイクルアセスメント－原則及び枠組み

2) 一重, Journal of Life Cycle Assessment, Japan,Vol.10 No.4 October 2014

3) 一重 喬一郎, 国産の丸太・製材および製材残材のエネルギー利用を対象としたライフサイクルアセスメントに関する研究, 博士論文,東京農工大学,2014,3

4) 古俣寛隆, 由田茂一, 加藤幸浩, 高山光子, Journal of Life Cycle Assessment, Japan,Vol.5 No.1 January 2009

5) 古俣寛隆, 加藤幸浩, 高山光子, 石川佳生：製材, 集成材および合板製造における温室効果ガス排出量の算出とその方法に関する諸課題, 林産試験場報　第 539 号, 2009.11

表 3-2　細目と LCA データベースの対応

		細　目	LCA データベース	単位	適用
建築工事	基礎工事	根掘り	軽油の燃焼エネルギー、内燃機関、ディーゼル機	リットル	ショベルカーの燃費は 16L/h
		埋め戻し	軽油の燃焼エネルギー、内燃機関、ディーゼル機	リットル	ダンプの燃費は 2.5km/L
		EPS	発泡ポリスチレン（EPS）の製造	円	
		異形鉄筋	異形鉄筋	t	
		生コンクリート	生コンクリートの製造	m^3	
	防水工事	防水	アスファルト塗工紙の製造	円	
		シーリング	シリコーンゴムの製造、コンパウンド	kg	
	木工事	構造材	道産製材	m3	新規作成原単位
		鋼製火打材	建築用金物の製造	円	
		金物費	建築用金物の製造	円	
	屋根工事	長尺金属板葺き	溶融亜鉛めっき鋼板の製造（転炉法）	kg	
		野地板	道産合板	m^3	新規作成原単位
		アスファルトルーフィング	アスファルト塗工紙の製造	円	
	金属工事	コーナーアングル	建築用金物の製造	円	
		床下点検口			
		マンホールふた			
		タラップ			
		壁付手すり			
		アルミ天井廻り縁			
		天井点検口			
		防雪ネット			
		雁木柱脚金物			
		ステンレス製くつずり			
		床点検口			
		カーテンレール			
		吊りボルト			
		室内物干し			
	左官工事	床モルタル塗り	モルタルの製造	m^3	
	建具工事	木製建具	内装建具（木部のみ）の製造	枚	
		アルミサッシ	住宅用アルミニウム製サッシの製造	円	
		樹脂サッシ①	樹脂サッシテラスドア 780*2070 ペアガラス	個	新規作成原単位
		樹脂サッシ②	樹脂サッシ引違 1713	個	新規作成原単位
	塗装工事	EP 塗り	建築用合成樹脂エマルション水系塗料	m^2 を kg に換算	塗布量 0.4kg/m^2
		防腐剤（木部）オスモグリーン			塗布量 0.08kg/m^2 の 2 回塗
		水性反応硬化ウレタン樹脂ワニス塗装			塗布量 0.1kg/m^2 の 2 回塗
	内外装工事	外壁金属板張り	溶融亜鉛めっき鋼板の製造（転炉法）	kg	
		オイルタンク置き場周り外壁金属板張り			
		鋼板外装材役物			
		外壁再生木材羽目板	一般製材品の製造	円	
		不燃外装材	その他の他に分類されないセメント製品の製造	円	
		外壁針葉樹合板	普通合板の製造	円	
		透湿防風シート	その他の軟質プラスチックフィルム	円	

		防湿気密フィルム	の製造、厚さ 0.2mmm 未満で軟質のもの		
		遮音シート	プラスチックシートの製造、厚さ 0.2mm 以上で軟質のもの	円	
		高性能グラスウール	ガラス短繊維・同製品の製造	円	
		セルローズファイバー	ガラス短繊維・同製品の製造	円	
		軒天パルプ繊維混入セメント板	木材セメント製品（パルプセメント板、木片セメント板を含む）の製造	円	
		天井けい酸カルシウム板張り	けい酸カルシウム保温材の製造	m2	
		軒天通気樹脂材	工業用プラスチック製品加工品（切断、接合・塗装・蒸着めっき、バフ加工等）の製造	円	
		ビニル床シート	塩化ビニル樹脂の製造	円	
		ビニルクロス	塩化ビニル樹脂の製造	円	
		せっこうボード	せっこうボード・同等品の製造	円	
		構造用合板	普通合板	円	
		木質繊維断熱材	その他の繊維板の製造	円	
		押出法ポリスチレンフォーム板	発泡ポリスチレン（EPS）の製造	円	
	ユニット及びその他工事	ユニットバス	強化プラスチック製容器・浴槽・浄化槽の製造	円	
		流し台	木製流し台・調理台・ガス台（キャビネットが木製のもの）の製造	円	
		内装パネル部品	住宅建築用木製組立材料の製造	円	内装プレハブ
電気設備工事		LED 灯	その他の電気照明器具の製造	円	
		住宅用分電盤	分電盤の製造	円	
		共用分電盤			
		配線器具	接続器の製造	円	
		ボックス類	接続器の製造	円	
		ケーブル	電線・ケーブル（光ファイバーケーブルを除く）の製造	円	
		電線管	プラスチック管の製造	円	
		排水・硬質ポリ塩化ビニル管			
		通気・硬質ポリ塩化ビニル耐火二層管			
		集中計器盤	監視制御装置の製造	円	
		機器収容箱	建築用金属製品の製造	円	
		インターホン	その他の電話（有線）装置の製造	円	
		火災報知設備受信機			
		端子盤			
		増幅器	その他の電信・画像（有線）装置の製造	円	
		テレビ共同受信機器収容箱	建築用金属製品製造業（サッシ、ドア、建築用金物を除く）の製造	円	
機械設備工事		天井埋込型換気扇	換気扇の製造	円	
		洋風大便器	衛生陶器の製造	円	
		洗面化粧台			
		給水・一般配管用ステンレス鋼管	普通鋼管の製造	円	
		プロパン・配管用炭素鋼鋼管			
		排水・硬質ポリ塩化ビニル管	プラスチック管の製造	円	

	台所用混合栓	給排水用バルブ・コックの製造	円	
	洗濯機用混合栓			
	自動エア抜弁			
	LD バルブ、横水栓			
	アングル止水栓			
	自動給気弁			
	給排気管	建築用金属製品の製造	円	
	ガス集合装置			
	給気用電動シャッター			
	給排気口			
	丸型風量と湯製ダンパー			
	ベントキャップ			
	オイルタンク			
	灯油・被覆銅管	銅伸銅品	円	
	保温工事	ガラス短繊維・同等品の製造	円	
	水中汚水ポンプ	家庭用電気ポンプ	円	

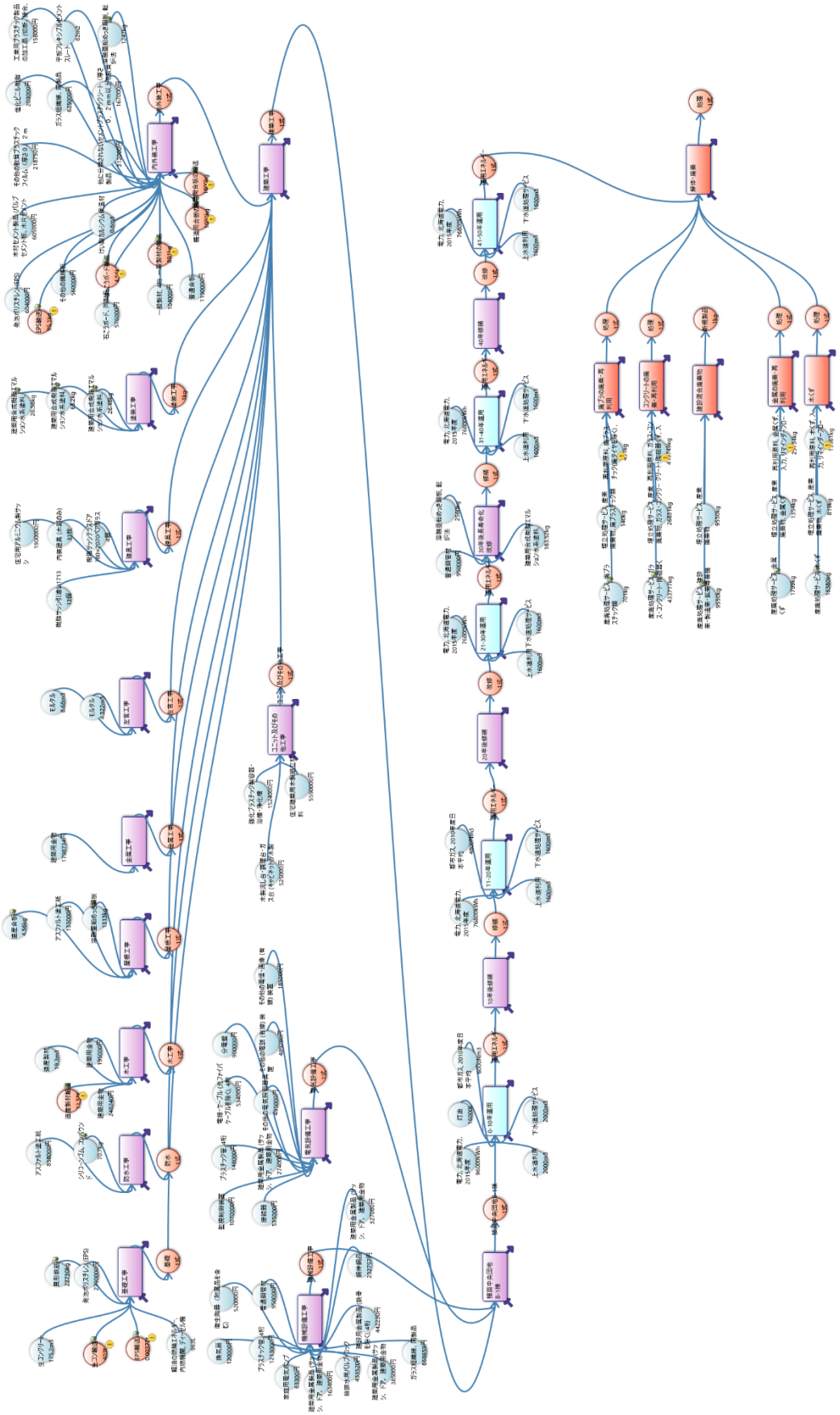


図 4-5　LCCO$_2$ 算出のケーススタディ体系図