

2009 年度 修 士 論 文

資源循環を意図した木造住宅の設計行為に関する研究

Research on wooden house design for resources recycling

田中 裕子

Tanaka, Hiroko

東京大学大学院新領域創成科学研究科

社会文化環境学専攻

目次

1章 序章 1
1-1 研究の背景	
1-2 研究の目的	
1-3 研究の方法	
1-4 研究の対象	
1-5 既往研究	
1-6 用語の定義（川上・川下・資源循環）	
1-7 本論の構成	
<hr/>	
2章 川上側の資源循環のための課題の把握 7
2-1 川上側の取り組み・課題（事例S/Y/ME/A/T）	
2-2 川上側の資源循環のための課題	
2-3 川上側の環境負荷	
<hr/>	
3章 川下側の設計事例・取り組み・課題 65
3-1 川下側の設計事例（事例S/U/SR/D/MS）	
3-2 川下側の取り組み・課題	
<hr/>	
4章 資源循環の意図した木造住宅の設計行為に関する分析 101
4-1 資源循環の性能の整理	
4-2 資源循環性の考慮方法の分析	
4-3 川下側の取り組みによる環境負荷低減性の分析	
4-4 設計タイプ別の資源循環性の分析	
<hr/>	
5章 最終章 147
5-1 資源循環を意図した設計行為の考慮項目	
5-2 資源循環を意図した木造住宅の設計行為の分析のまとめ	
5-3 資源循環を意図した木造住宅の設計行為の展望	

1章 序章

- 1-1 研究の背景
- 1-2 研究の目的
- 1-3 研究の対象
- 1-4 研究の方法

1 序章

1-1 研究の背景

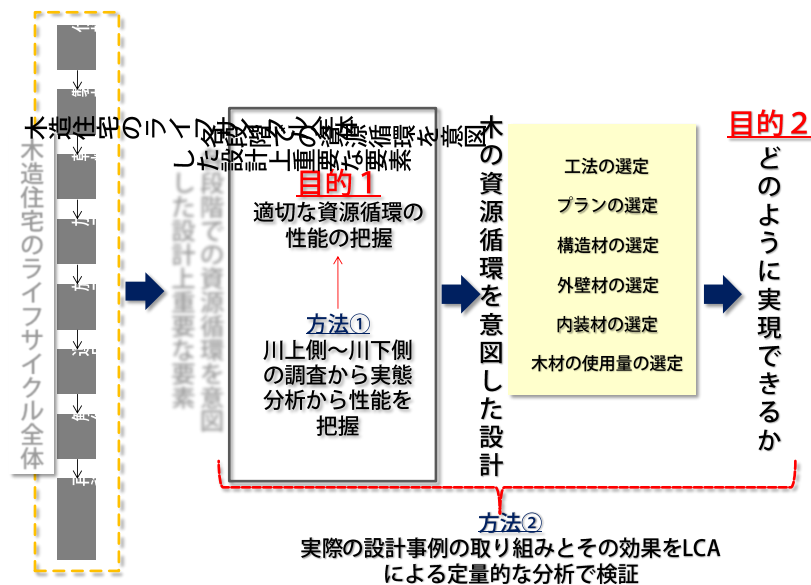
近年、再生可能な材料として木材が注目を集めている。世界の森林資源を見ると、無作為が伐採され、森林破壊がおきている地域もあれば、我が国のように森林資源が放置され、荒廃が進む地域もある。森林資源は、再生可能な範囲で消費されないと循環しない。

我が国では、木材の主要使用用途である木造住宅への国産材利用が、林業や製材業者のような川上側への助成などにより、積極的に行われているが、適切な資源循環を達成するに至っていない。一方、木造住宅に使用する木材を決定し使用方法を決定するのは、設計者や部材調達者である。それ故、品質のよい木材を川上側がそろえても、彼らはその材を選択しなければ使われることはない。

また、これまで国産材・地域材利用促進を目的とした既往研究では、流通の仕組みや生産体制に着目した木の川上側の研究が数多く、設計者や施工者などの川下側に着目した研究は少ない。また、資源循環を考慮した設計行為に関する研究はこれまでなかった。

1-2 研究の目的

本研究の目的は、木材の適切な資源循環に必要な性能を把握し、それら性能を木造住宅の設計行為によってどのように実現できるかを、各木造住宅生産者とその利害関係者の役割に注目しながら、実事例の分析と LCA による定量的な分析により明らかにすることである。



図：1.1 研究の目的と目的を明らかにするための方法

1-3 研究の方法

本研究では、木材の資源循環に必要な性能を把握し、設計行為がその性能を実現できるか明らかにするため、全国各地で木材の資源循環に取り組む事例を9事例選び資源循環フローを担う各主体を対象とした聞き取り調査、現地調査を行った。

対象とした事例の概要および、各事例で担う業務を表1に示す。

1-4 研究の対象

本研究の対象は、川上側の林業家・森林組合・製材業と、川下側の木造住宅生産者である。

対象とした川上側の業態は、大規模なものから小規模なものとした。また、製材業に関しては、乾燥方法が、「燃油による人工乾燥」「燃油と木屑による人工乾燥」「燃料を使用しない天然乾燥」の3タイプのものを選らんだ。LCAモデルによる分析を行う際、木材の環境負荷として大きく占める乾燥工程の異なるタイプの比較が必要だと考えたからである。対象とした木造住宅生産者は、国産材もしくは地域材を使用した木造住宅を生産する、住宅メーカー、工務店、木造住宅専門の設計事務所とした。国産材や地域材を使用しているほうが、伐採から使用までの木材のフローが把握しやすいと考えたからである。選定にあたっては、国土交通省が実施している「長期優良住宅先導モデル事業」および「住宅・建物省CO2推進モデル事業」の採択案と建築雑誌や書籍から特徴のある木造住宅を生産する業態を選定した。

表 1.1 : 対象とした業態と事例一覧

対象とした業態	主に川上側の対象				主に川下側の対象				
対象とした設計	—				●	●	●	●	●
事例名	事例Y	事例T	事例ME	事例A	事例S	事例SR	事例U	事例MS	事例D
主たる業務	川上	■		■	■	□	□	□	
	川	■	■	■	■	□	□		
	川		■			■	■	■	
	川下					■	■	■	■
主な特徴	燃油と木屑による人工乾燥	国産材の大規模集成材工場	兵庫県丹波地区の木材流通	燃油による人工乾燥	業がらし乾燥・天然乾燥・工務店	軸組工法ハウスメーカー	業がらし乾燥・天然乾燥・パネル工法・設計事務所	天然乾燥材パネル工法	木造SI軸組工法
生産量	4000㎡/年 約30棟分製材/年	約20万㎡/年間	—	約9000㎡/年	製材業務: 7000㎡/年 設計業務: 約200棟/年	9000棟/年	3~4棟/年	2007までで、300棟 約10~12棟/年	これまで100棟弱
事業エリア	高知県内・関西	九州全域	兵庫県丹波市	秋田県能代市	主に熊本県内、一部福岡	全国	足利市内	全国を対象(関西を中心に)	全国工務店対象

川上 川下
■ 関与している業務 ■ 自社業務

1-5 既往研究

主に地域材や国産材など木材関連の既往研究を行った。その一覧を下に示す。

地域材に関する既往研究概要

研究対象	調査対象	内容	文献
住宅生産システム	全国、高知県、京都府	地域材利用の木造住宅の供給実態・流通システムをアンケートや聞き取り調査により明らかにしている。	1)、2)、3)
コスト	京都府	京都府産材の生産・流通にかかるコストを明らかにし、他府県産材や外材とのコスト差を明らかにしている。	4)
助成事業	全国	自治体助成についての分析	5)
消費者ニーズ	秋田県	秋田県における木造住宅の消費者ニーズの地域材利用促進を目的とした分析をアンケートや聞き取り調査により明らかにしている。	6)
環境影響評価	兵庫県内の1事例、秋田県能代市	1事例を対象に木造建築による森林保全効果を推計、伐採～使用までの木材の資源循環フローを明らかにし、代表的なフロー別に環境評価を行っている。	7)、8)、9)

- 1) 田中亜紀、角田誠：地域材活用を目的とした木造住宅の生産供給実態に関する調査研究、日本建築学会学術講演梗概集、2006年
 - 2) 久間高章、古阪秀三、遠藤和義：地域の木造住宅生産研究 その1 高知県の木造住宅と大工・工務店の実態、日本建築学会近畿支部研究報告集、1991年
 - 3) 早川慶朗、金多隆、古阪秀三：住宅用地域産材の供給・流通システムの再構築、日本建築学会学術講演梗概集、2006年
 - 4) 早川慶朗、古阪秀三、金多隆：木造住宅における木材コスト比較から考察する地域材の活用の可能性、日本建築学会学術講演梗概集、2005年
 - 5) 長崎愛、中山徹：地域材を活用した木造住宅に対する自治体の助成事業について、日本建築学会学術講演梗概集、2007年
 - 6) 宮本基杖、飯島泰男、立花敏、川鍋亜衣子：地域材が消費者ニーズほど使用されないのは何故かー秋田県の住宅に関するアンケート調査の分析からー、林業経済研究、2009年
 - 7) 北尾 靖雅， 安田 哲也：地産地消型の木造建築設計方法の研究：木造建築部材の調達過程にみる森林の保全効果の推計、日本建築学会学術講演梗概集、2004年
 - 8) 津田 公平， 村上 周三， 伊香賀 俊治， 本藤 祐樹， 成田 菜採：地場産木材を活用したサステナブル建築のライフサイクルアセスメントに関する研究(その1) ー高知県梶原町における現地調査に基づく地場産木材の環境影響評価ー、日本建築学会研究報告集、2006年
 - 9) 秋田典子、伊吹美佳、清家剛、川鍋亜衣子、飯島泰男：秋田県における木質系建材のマテリアルフローの実態の再資源化の取り組みに関する環境評価、日本建築学会技術報告集、2008年
- 小池 啓介， 稲山 正弘， 古谷 誠章， 八木 佐千子：木質構造の新たな可能性に関する提案、日本建築学会建築デザイン発表梗概集、2008年

地域材・国産材利用住宅関連研究では、1地域や個々の事例ごとにとどまっており、横断的な研究があまり行われていないことがわかった。

また、木造住宅の設計プロセスや設計システムに関する研究はなされているが、地域材・国産材利用の設計行為に着目した研究はあまり行われていない。

1-6 用語の定義

本論での用語の定義を下記する。

本論文では木材資源循環フローの中で、木材が伐採されてから製材・乾燥・加工（プレカット）されるまでを「川上（担う主体を川上側）」とし、設計者や施工者などを「川下（同川下側）」とする。「資源循環」とは、可能な限り資源を再生可能な状態にする資源の活用方法を指す。

1-7 本論の構成

2章では、主に川上側の業態に現地調査および聞き取り調査を行い、現状の把握と資源循環の阻害要因となっていた課題を把握した。

3章では、主に川下側の業態と事例の聞き取り調査を行い、川下側での取り組みと、川下側での阻害要因となっていた課題を把握した。

4章では、2章3章で把握した課題から最適な資源循環のための性能を把握し、その性能を実際の設計によってどのように実現しているか、実事例の取り組みから整理を行った。

そして、住宅生産の規模と設計者と川上側との関係から設計タイプの分類を行い、設計タイプ毎の資源循環性における特徴と課題の把握を行った。

5章では、4章で把握した資源循環の性能の実現方法や設計タイプの特徴をもとに、資源循環を意図した設計時の一般的な留意点を整理し、資源循環を意図した設計行為の可能性の考察を行った。

2章 川上側の資源循環のための課題の把握

2-1 川上側の取り組み・課題

2-2 川上側の資源循環のための課題

2-3 川上側の環境負荷

2章 川上側の資源循環のための課題の把握

ここでは、川上側の取り組みを、5事例をもとに現地調査やヒアリングにより整理し、その現状と環境負荷を把握する。

そして、川上側の実態分析から、適切な資源循環の性能を把握する。

対象とした事例の概要と、木造住宅のライフサイクルでの位置づけを表に示す。

表 2.1 : 対象事例

		主に川上側の対象				
		事例Y	事例T	事例ME	事例A	事例S
主たる業務	川上	■	■	■	■	□
	川下	■	■	■	■	■
	設計					■
主な特徴		燃油と木屑による人工乾燥	国産材の大規模集成材工場	兵庫県丹波地区の木材流通	燃油による人工乾燥	葉がらし乾燥・天然乾燥
生産量		4000m ³ /年 約30棟分製材/年	約20万m ³ /年間	—	約9000m ³ /年	製材業務: 7000m ³ /年 設計業務: 約200棟/年
事業エリア		高知県内・関西	九州全域	兵庫県丹波市	秋田県能代市	主に熊本県内、一部福岡

 川上 川下
■ 干渉している業務 ■ 自社業務

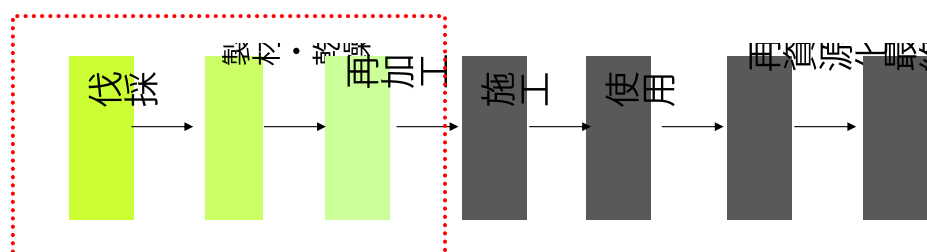
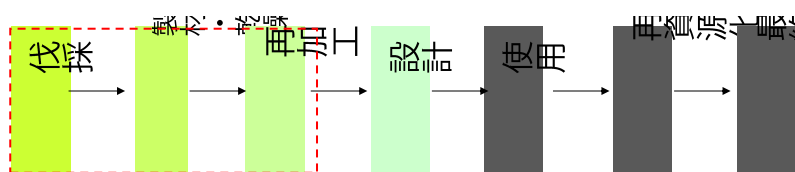


図 2.2 : 調査事例の木造住宅のライフサイクルでの位置づけ

2-1 川上側の取り組み・課題

「事例S」

天然乾燥材による住宅供給を行う工務店Sにおける川上側の調査



事例の対象業

概要

熊本市内にある工務店で、注文住宅建築・増加改築・木材加工を主たる業務としている。グループ会社も合わせ、年間約 200 棟の住宅を供給しており、熊本市内でのシェアは大きい。

特徴としては、住宅に使う木材は、県内もしくは国内の乾燥材を使っており、乾燥方法も人工乾燥ではなく、1年以上時間がかかる天然乾燥を行っている。また、一般的な工務店は、材木屋や製材所で木材の製材品を購入するが、工務店Sは原木を直接林業家から購入している。

住宅設計は、国産材 100%の（県産材は主に杉）大壁方式の木造軸組み工法である。

■事例名

天然乾燥材による住宅供給を行う工務店S

■主たる業務

注文住宅建築・増加改築・木材加工

■規模

従業員数（グループ全体）：174名（平成21年11月現在）年間住宅建設数（グループ全体）：205棟（前期新築完成工事棟数、建売含む）

■事業エリア

主に熊本県内、一部福岡市内

■設計概要



写真：事例Sのモデルハウス

天然乾燥材を使用した国産材 100%（県産材は主に杉）木造住宅を供給。コンセプトは、化学物質を使わない環境に優しい健康な家。グループ会社では、OMソーラー住宅を供給。

■住宅生産のフロー

木造住宅生産の環境負荷を把握する場合、住宅生産フローの把握は必須である。

住宅生産フロー（ただし、ここでいうフローは現場に木材が運ばれる直前までとする。）は設計業態によって異なり、大きく3つに分かれる。①製材品を購入する業態、②原木を購入して製材を委託する業態、③原木を直接購入し、自社で製材もしくは、占有の製材所で製材する業態である。

工務店Sは、③のタイプである。一般的な国産材の木材流通は、下図のように中間マージンが嵩み、製材品は高額になる傾向にあるため、需要が少ないのが現状である。工務店Sの木材流通は、中間マージンが発生しない、簡潔な流通になっている。ピンクの点線部分が事例Sの流通図である。（図2.1）

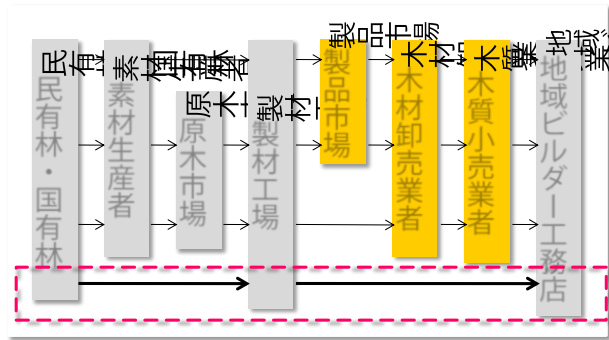


図 2.3：一般的な木材流通と事例Sの流通

以下、工務店Sにおける住宅ができるまでの生産フローを伐採、製材、乾燥、加工の段階ごとに整理する。

川上から川下までの住宅生産フロー



図 2.4：事例Sの住宅生産フロー

【伐採】

① 伐採（I 林業）

事務所から約150km離れた山場で伐採される。伐採時に使用する器具は、プロセッサ一、グラップル、スイングヤーダ、フォワーダなどである。

基本的に伐採時期切り旬9月～1月に伐採を行う。

※切り旬とは、木材の含水率が低い時期で、切り旬に木を切ることで、重量も軽く、害虫が付きづらいというメリットがある。



写真：伐採

【乾燥1】

② 葉がらし乾燥

工務店Sで消費される原木の7割は、山で伐採後2ヵ月～3ヵ月、葉がらし乾燥される。葉がらし乾燥を完了した木材は山で指定の長さで玉切りされ、搬出される。（玉切り尺：3m、3.3m、4m、5.5m、6m、8.5m）

※葉がらし乾燥とは、伐採後一定期間葉付きのまま置くことで、蒸散作用（木の葉から水分が蒸発する作用）を利用して乾燥させる方法。

③ 原木乾燥（湯の前土場）

山で2～3ヵ月葉がらし乾燥された原木は、11t車で14m³/回の単位で35km離れた土場に運ばれ、そこで原木のまま約3ヵ月原木乾燥させている。



写真：原木乾燥工場

【製材】

④製材工程（O製材所）

原木乾燥された原木は、工務店S占有の製材業者が土場から2km離れた製材所へ4t車で8.5m³/回の単位で運ばれ、工務店Sが指定した製材寸法に製材される。



写真：O製材所

ここでの年間製材量は、5480.755m³であるが、事例S全体では、11,000m³委託している。

【乾燥2】

⑤製材天然乾燥（H土場・T土場）

製材所で製材された木材は、4t車・6t車で5m³/回、7m³/回の単位で製材所から約5km離れた土場に運ばれ再び天然乾燥させる。ここでは、厚みのある柱や梁は1年半、厚みの薄い羽柄材などは3ヵ月から4ヵ月天然乾燥される。

製材後、約6ヵ月は屋外にて乾燥させている。その際、梱包の最上段に簡易屋根を設置している。モルダー加工前の3ヵ月間は、小屋内保管とし直接雨水がかからないようしている。

置き場は、地面にヒューム管を敷き並べ、その上に注入した防腐・防蟻処理を施した120mm角材を置き、地面からの高さ（GL+約500）を確保している。通風をよくし、地表から

の湿気を逃すため、梱包と梱包の間には120mm角材を置き、通風を良くしている。

製材乾燥場所は、2か所あり、全体で約6000m³の木材が天然乾燥されながら、在庫されている。事例Sでは、含水率25%以上は出荷しないことを定めている。



写真：製材乾燥

⑥1次加工・寸法仕上げ（T工場）

製材天然乾燥された木材は、10t車・6t車・4t車で24m³/回、8.7m³/回、4.8m³/回の単位で18km離れたモルダーがけ工場に運ばれ、モルダーがけをして寸法仕上げをする。



写真：T工場

【再加工】

⑦プレカット（熊本プレカット工場）

寸法仕上げが完了した木材は、20tトレーラーで39m³/回の単位で118km離れたプレカット工場に運ばれ、プレカットされる。

【施工】

⑧施工現場

プレカットされた木材は、各建設現場へ運ばれる。一棟あたり5回～6回に分けて、5t車もしくは7tユニック車で運ばれる。（例：土台1回、構造材2回～3回、上棟材1～2回、羽柄材1回）

■天然乾燥と天然乾材の在庫管理

白材-1

46期構造材 白材（一般材・認証材）適正表 (10月31日現在)

平成21年11月6日
作成者: 田中 俊史

No.	品名	材種	等級	長さ	厚み	幅	1種平均数	月間使用棟数	月間使用本数	乾燥期間	A		B						B-A	C	備考			
											必要数		製品在庫数(一般材・認証)									適正在庫 (在庫一必要数)	製材品 発注残内訳	
											白	白	白		白		白							小計
1	土台	松	特1	4	120	120	26本	17.5棟	455本	6ヶ月	2,730本 (105棟分)	一般・認証	馬木工場	多良木工場	2本 (0棟分)	人吉工場	人吉工場	727本 (28棟分)	727本 (28棟分)	1,861本 (72棟分)	-869本 (-33棟分)	佐藤製材 久野産業	3,175本 178本	
2	土台	松	特1	4	135	135	26本	60棟	1,560本	6ヶ月	8本 (0棟分)	一般材						224本 (9棟分)	224本 (9棟分)	496本 (34棟分)	496本 (34棟分)	佐藤製材	160本	
4	火打ち 大引金 1型大引き	杉	特1	4	103	103	10本	20棟	200本	9ヶ月	2,820本 (282棟分)	一般材		18本 (1棟分)	1,379本 (138棟分)		594本 (50棟分)	1,901本 (70棟分)	2,820本 (282棟分)	3,918本 (145棟分)	1,098本 (110棟分)			
5	支柱・ 小梁	杉	特1	3	120	120	86本	20棟	1,720本	17ヶ月	31,520本 (367棟分)	一般材	403本 (5棟分)	30本 (0棟分)	3,081本 (36棟分)		7,341本 (85棟分)	10,855本 (88棟分)	31,505本 (254棟分)	-15本 (0棟分)	丹山木材 佐藤製材 北條	4,731本 100本 5,000本	小梁用 多良木 一般 1,020本 多良木 認証 1,530本 熊木 認証 322本	
7	梁	杉	特1	4	115	115	33本	20棟	660本	11ヶ月	7,260本 (220棟分)	一般材		228本 (7棟分)	1,115本 (34棟分)		971本 (29棟分)	2,314本 (70棟分)	7,260本 (220棟分)	8,711本 (266棟分)	1,471本 (45棟分)			
8	通し柱	杉	特1	6	120	120	27本	2.25棟	17ヶ月	39本 (283棟分)	一般材	5本 (2棟分)	1本 (1棟分)	68本 (42棟分)				71本 (46棟分)	429本 (264棟分)	389本 (240棟分)				
9	通し柱	杉	特1	6	150	150	7本	0.58棟	17ヶ月	10本 (283棟分)	一般材	13本 (6棟分)	23本 (11棟分)	99本 (45棟分)				310本 (142棟分)	335本 (83棟分)	445本 (204棟分)	435本 (200棟分)			

図 2.5 : 在庫管理表

天然乾燥をしながらストックされている材は、上図のように材の寸法と土場ごとに、ストック量が正確に管理されている。これは天然乾燥材を定常的に使用するために必須な作業の一つである。

製材保管期間は、山場で3~4カ月、原木状態で3ヶ月、製材後、柱・梁は1年から1年半、羽柄材などは3カ月から4カ月乾燥させる。

現状では、天然乾燥材を使用する工務店は、全国的に少ない。その理由は、天然乾燥材は納品までに1年以上時間がかかり、ストック場所の確保も必要なので、一定量を消費する見込みがないと、金銭面を考えたときにリスクが大きいためである。天然乾燥を行う必要な条件としては、資金力・通風がよく、日照条件が良い乾燥用の土場の確保である。

工務店Sは、年間200棟の住宅を供給しており、天然乾燥材を使用するのに好条件がそろっていたこともあるが、在庫管理を行いやすいように、あらかじめ住宅に使用する材の種類を減らすなどの工夫も見られる。

■副産物

製材時に発生したカンナくずは、主に地元畜産業者に販売している。一部は、低温乾燥倉庫の燃料として使用している。

以下、本調査よりわかった各工程での副産物の行き先とその量を述べる。

【工程④】製材を行う工場では、カンナくずは、426 m³/年間を地元畜産業者に販売している。端材梱包の材積として（最終背板など）1,094 m³/年間を林業家へ販売し、チップとして再利用されている。

【工程⑥】寸法仕上げを行う工場では、カンナくずとして、7,051 m³/年間を地元畜産業者に販売している。

【工程⑦】プレカットを行う工場では、加工端材として330 m³/年間を製紙会社へ産業は異物として処理委託している。

このように、事例Sは、副産物の廃棄物としての処理はあまり見られず、比較的有効に利用していると捉えられる。

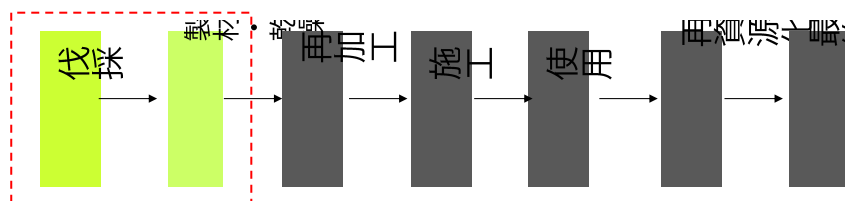
■見られた課題

事例Sでは、天然乾燥をするためのストックヤードが、いくつかにわかれており、材の移動が多く見られた。その理由としては、年間200棟分の在庫を管理しているため、その量を一か所で管理できるだけの土地の確保が難しいことがあげられる。

天然乾燥材を生産する場合、こうした在庫管理の効率化への考慮も重要であることがわかった。

「事例Y」

木質バイオマスと重油による人工乾燥を行うY森林組合



事例の対象業務

概要

町内で環境的な取り組みを積極的に行っていて、その取り組みの主として担う、製材も森林組合である。生産量は、小規模である。

主な特徴は、前述した環境的取り組みの一環として、木材の乾燥する際、木質ボイラーを使用しており、昼間は、製材時の端材などを燃料として使用し、夜間は重油による乾燥を行っている。また、林地残材を利用したペレット製造などもおこなっている。

この町内の森林は、比較的手入れされているものが多い。

■事例名

高知県Y森林組合

■主たる業務

森林管理、製材、ペレット製造

■事業エリア

高知県から愛媛、関西まで。

【伐採】

主に間伐。主伐はほとんどない。葉がらし乾燥などせずに、伐採後すぐに原木を搬出している。

樹齢40年～50年を主に伐採していて、ペレットの資材になるのは、曲がり材と腐りがあるものであった。山で、



写真：伐採

未利用材と用材をわけている。

山から森林組合までの距離は、約片道 10 km～12 km であるという。
伐採時に使用する器具は、チェーンソー、プロセッサ、ラジカリーで、軽油は 50ℓ/日（プロセッサとスウィングセッター）くらい使用するという。

【製材・乾燥】

・生産方法：県外からの受注生産を主としている。工期の短い注文に対応するため、常備ストックしているものもある。町内の注文は、小さい町内の製材所に受けてもらう。

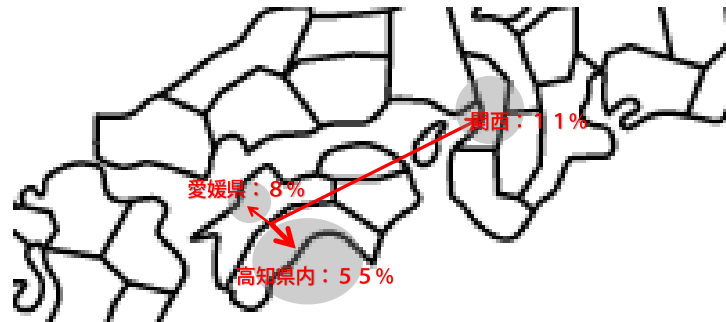


生産量：約 4000 m³/年

写真 左上：原木貯水／左下：バンク／右上：曲がり材など／右下：乾燥機

乾燥方法：木質ボイラーで材の乾燥を行っていて、昼間は製材時の端材を燃料として使用し、夜間は、重油による乾燥を行っている。

取引先：高知・四国の工務店と納材屋。遠方は、関西。高知：55%、関西：11%、愛媛：8%
（平成 20 年度比）



在庫

2つのヤードでストック→600~700 m³と 1100 m³~1200 m³、計 1700 m³~1900 (家 30 棟分くらい) を在庫している。

- ・スギ・ヒノキ (1割から2割)

見込み生産

「大手企業は、量は売れるが、利益率が少なく、また一定寸法と決まっているので、リスクが大きい。小さなところとたくさん取引をするほうが、リスクも少なく、安定する。」

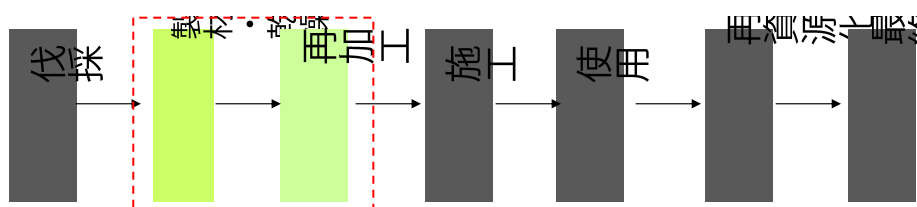
ことから、小さな工務店へ販売していて、見込み生産を行いたくても、そのため見込み生産が行いづらいようであった。

本来なら、見込み生産をしたいが、なかなか現実的には難しいようだった



「事例T」

大規模集成材工場



事例の対象業務

概要

九州全域から曲がり材などの無垢材に使用されづらい木材を集め、国産材の集成材を生産している製材業者である。規模は、日本最大級である。

全国各地に工場や配送センターを持ち、外材も扱っている。

■供給エリア

九州各地と広島への配送センターへ。

広島から全国に供給される。

供給先：90%問屋、プレカット工場



■規模

原木供給量

32万m³/年

年間製材量

1万1千m³/月→約20万4千m³/年



写真：事例Tの工場

■取り組み

- ・効率的な大量生産によるコストダウン
- ・曲がり材でも製材可能な機器の導入などにより、低品質材の用材化を可能にしている。
- ・製材工程で発生する副産物で乾燥ボイラーのエネルギーとして賄っている。余りは、チップ業者へ販売。

■課題

大量に出る端材は、工場内のボイラーや電力の燃料として賄われていたが、それでも余ってしまう状況であった。そのため、今後の課題として、その余った熱源をどのように処理

するかを検討中であった。

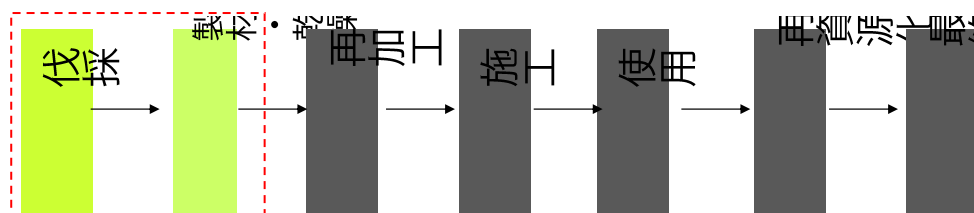


写真 左：集成材の製造過程 右：木質ボイラー

上の右の写真は、木質ボイラーで、これで工場内の電力と熱を賅っている。
集成材は、左の写真は、集成材をつくる際、ある強度を保つために重ねる材のヤング率が決まっている。その材の重ね方の見本と、あわせた後のものが、左下の写真である。

「事例A」

既往研究¹より、O 森林組合、T 製材工場、S 協同組合(製材工場)の取り組みをまとめた。



事例の対象業務

■O 森林組合(製材工場)

O 森林組合製材工場では、O 森林組合が管理している山で伐採した秋田スギの製材を行っている。

入荷された丸太は、製材に利用できそうなものは他の製材所が購入していくため、品質の悪いものや使いにくい径のものが残る。

主に建築用の構造用部材を製材しているほか、不良材などから木製堰堤や林道用のダボも製材している。

人工乾燥は灯油焚きボイラーを熱源とした人工乾燥機を用いている。



写真：林道



写真：積み場

¹東京大学大学院 清家研究室：「米代川流域エリア産学官連携促進事業 秋田スギ等地域材流通システムの構築」

■T 製材工場

T 製材工場は、秋田スギのみを取り扱っている製材業者である。

購入した原木を皮剥き→大割→小割し、その後天然乾燥と人工乾燥により乾燥材へと仕上げる。人工乾燥機の熱は木屑焚きボイラー2台と灯油焚きボイラー1台により供給される。木屑焚きボイラーの燃料は、自社内で発生した樹皮・端材である。



写真：板材



写真：角材

■S 協同組合(製材工場)

S 協同組合(製材工場)は、秋田スギのみを取り扱っている製材工場である。

原木から芯もち角材をとり、余った部分から間柱・垂木・野地板・小幅板・天井板などを製材している。

製材したもののうち品質の良いものはさらに天然乾燥と人工乾燥により乾燥させる。人工乾燥機は重油焚きボイラー3台、灯油焚きボイラー1台および木屑焚きボイラー1台により熱を供給している。

木屑焚きボイラーの燃料は自社で発生する端材を砕いたチップのほかに有償で購入もしている。



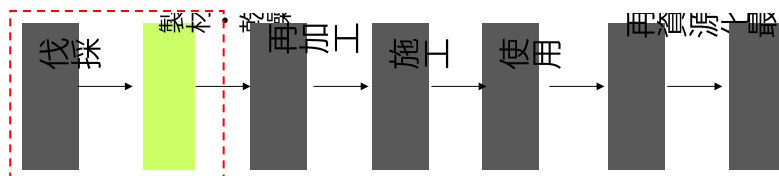
写真：製材製品



写真：丸太のストックヤード

「事例 ME」

兵庫県の県産材の製材を中心とする製材所



事例の対象業務

概要

兵庫県丹波市内で、国産材の製材品を製造している製材所である。国産材を積極的に使用してくことに力を入れている製材所であるため、住宅製造を行うグループ会社も設立して、また山の山林事業も行っている。乾燥は、重油による乾燥を行っている。



■主たる業務

製材業・建築資材販売・建築業・不動産業・山林事業

【製材】

製材は、断面寸法 105 角・120 角を中心に行っている。歩留まりは、全体で 50%程度であった。

【乾燥】

高温乾燥と低温乾燥を行っており、低温乾燥は、板材が主である。天然乾燥は、極一部であった。

葉枯らし乾燥は、伐採時に山で行い、木の特性維持、乾燥時間の節約を意図しておこなっており、乾燥期間は、夏季で約 3 ヶ月～ 春・秋で 6 ヶ月～であった。

乾燥機械の動力は、ほとんど灯油で、天然乾燥の拡大は検討していたが、屋根つきの乾燥場所の確保が難しいトの子であった。



写真：乾燥器に入れる直前

■副産物発生量と処理方法

バークは、粉碎して業者が無償で引き取っていた。量は、4 t 車で 3 日に 2 台くらいの量であった。バークも業者が粉



写真：乾燥器



写真：皮むき

碎して敷藁用に使っている。事例 ME でも、一部燃料にしていた。

発電も検討したがコスト的に合わず、断念していた。副産物の処理は、一般的な製材所では抱える問題であるようであった。

おがくずは、業者に販売し、量は、4 t車で1日1車くらいであった。しき藁用は、多くはないが有料としていた。端材は、チップにし業者に販売し、チップは専門の業者がパルプ業者へ引き渡しているということであった。

■見られた課題

事例 ME は、山林事業も行っていて、その中で、国産材は断面寸法が小さいことや、虫の問題もあり、切った木が100%使えることが少ないことを問題視していた。また、よく消費される材が偏ってしまうと、遍材が製材上の在庫となり、その処理も課題とした。

また、現在、野地板などの手間のかかる仕事は行わず、全てチップにするなど、なるべく手間がかからず加工賃をとれることを優先させて取り組んでいた。このことから、効率的な生産や、山の価値の向上が課題となっているといえる。

事例 ME では、様々な材を見込み生産し、すぐ出荷できるようにしている。これは、川下側の工務店や設計者に、なかなか寸法や樹種を決めてもらえないことが多く、受注生産を行うと、材が高額になってしまうためである。これは、材へのこだわりや、唯一無二な住宅を好む設計者と相反して、川上側にとっては、常時使用する材を決定してもらい、見込み生産が行えることのほうが、安定経営に繋がることを示している。この現状は、川上側と川下側の課題である。

2-2 川上側の資源循環のための課題

本項では、前項で把握できた川上側の特徴的な取り組みと課題をまとめる。

【川上側の取り組み】

事例Sでは、山で伐採を行う業態には、葉がらし乾燥を伐採してから3~4ヵ月行っていた。事例Yでは、葉がらし乾燥せず、そのまま原木を山からおろしていた。

製材所においては、乾燥工程において、天然乾燥材を行っている事例Sと、重油による乾燥を行っている事例A・MEと、一部製材時の端材を利用した乾燥を行っている業態の3タイプが見られた。

事例Tでは、九州全域から未利用材を集め、集成材にし、全国に配送していた。また、効率的な生産により、コストダウンを図っていた。

また、全体的に小規模経営者の多い製材所では、歩留まりを上げることに力を入れていて、設計者に直接、使用してもらいたい材を売り込んでいる製材所(ME)も見られた。

事例MEでは、経費削減の一環として乾燥時の使用燃料を減らすため、乾燥器の稼働を自動ではなく、主導で制御することで、使用燃料の削減に成功していた。

【川上側の資源循環のための課題】

前項でみられた課題を列挙する。

- ・全体の事例を通して、原木価格が数十年前に比べて安くなり、山に利益が返らず、山の手入れまでを補助金なしで行うことは難しいようであった。(SR,ME,Y)
- ・伐採作業を効率的に行うことは難しく、まとめて伐採作業を行いたい。
- ・伐採された木は、虫食いや曲がりなどの問題で、必ずしも製材品にはならない。(Y,ME,SR)
- ・製材所は歩留まりを上げることに力を入れていた。利益率の悪い小規模な製材所は、一本の原木をいかに製品化するかが製材所の継続に繋がるようであった。(A,ME)
- ・また、間伐のため伐採されたが、無垢材などに使用できない曲がり木などの処分にも、課題になっていた。(Y,T,ME)
- ・製材発生時の端材もチップ化して売るなど、加工賃が取れるところまで、無駄なく材を使用する。(A,ME)

上記のことは、資源を有効利用していくことが、川上側の経営の安定を担っており、このことは、彼らの手で山がきちんと手入れされるための必須条件である。つまり、適切な資源循環には、資源を有効利用していくことが必要だと分かった。(資源有効利用性)

- ・見込み生産できないことで、効率的な生産が行えない。(Y)
 - ・特注品を注文が来てから発注すると高額になるため、在庫がないと負担が大きい。在
-

庫しておけるほうがよい。(ME,Y)

上記の問題は、製材所の安定経営にとって、つまり、資源循環の始まりには、見込み生産が行えることが重要であることがわかった。(安定消費性)

・よく消費される材があると、それだけ価格が上がってしまうことや、その影で必ずB級品が発生することが問題になっていた。

・大手メーカーのような大量に材を購入する業態と取引することは、一定量の生産が可能であるが、小規模な製材業者にとっては、規格が変更されることや、取引がなくなることなどのリスクを考慮すると、複数の小さな工務店に納品するほうがよい。しかし、そうすると見込み生産が行えない。

・林業は利益がない割に労力が必要な仕事で、後継者も存在も極めて少なく、問題視された。

また、製材時に出る、チップやバークの処理にも、課題になっていた。逆に、大規模な製材所では、効率的な生産が行われているので、チップの原料となる端材や、おがくずも大量に発生するため、チップ業者に副産物を販売することで、端材の有効な処理を行っているが、小規模な生産者は、発生する量も、すくないため、利益を取るのが難しい。

上記の問題は、小規模な製材所にとっては、ただ一定量消費するだけでは、解決できない問題が発生する。

このことから、小規模な製材所にとっては、偏りなく材を隈なく使用してもらうほうが良いことわかった。(無偏向性)

・製材所では、乾燥時の燃料が経費に占める割合が多く、問題となっていた。(A, ME, Y)
なるべく化石燃料をしようしないほうがよいこと分かった。(環境負荷低減性)

2-2 川上側の環境負荷

本節では、2-1の川上側の調査でえられたデータをもとにLCCO₂による環境負荷の算定を行う。具体的には、天然乾燥を行う事例S、木質バイオマスによる人工乾燥を行っている事例Yの環境負荷の算定を行う。

2-2-1 LCAの概要

本章では建材の製造工程ごとの環境負荷を把握するために、LCA（ライフサイクルアセスメント）評価手法を用いて算定評価を行う。LCAの考え方をを用いて、建築用木材の環境性能評価を行う。

LCAは、ある製品の機能あるいはサービスを楽しむにあたって生じる環境負荷や環境影響を定量的に分析・評価する手法である。例えば製品の場合は、原材料の採取から製品の製造、使用、廃棄（リサイクルを含む）にいたるまで、製品の全生涯（ライフサイクル）にわたって、消費される資源や排出される汚染物質など(環境負荷)を計算し、その環境影響について分析・評価を行う。

このような考え方をを用いた最初の研究は、1969年にコカ・コーラ社の委託により、米国のミッドウエスト研究所によって飲料容器を対象に行われた。当時米国では、飲料容器の散乱防止対策及びリサイクルの促進が大きな社会的課題となっており、特に使い捨て飲料容器に対する批判が高まっていた。コカ・コーラ社は自社オリジナルのリターナブルびんを対象として研究を依頼したのである。欧州においても容器包装（とくに飲料容器）の問題、すなわちごみ問題がLCA研究の出発点となっており、日本においても、主としてごみ問題への対応から研究がスタートした。

現在は、ごみ問題のみにとどまらず、様々な工業製品やサービスの製造時環境負荷の評価や、政策の効果評価など様々な対象・評価方法をとっている。建築分野においても、建築分野全体を対象にCO₂排出量削減目標値を定めるために使用されたり、異なる建築資材間で同一の建築物を建てる場合のCO₂排出量を比較するために使用されたり、と様々な目的でLCAが行われている。

LCAは下図に示すように4つの要素から構成される。

目的と評価範囲の設定

LCA実施者の意図する用途に整合するよう、目的と評価範囲を明確に設定する。

インベントリー分析

で設定した製品の機能やサービスを楽しむために消費される資源や排出される汚染物質

などについて計算を行い、その目録（インベントリー）を作成する。

インパクト評価

(2)で作成したインベントリーから、潜在的な環境への影響（インパクト）を評価する。

結果の解釈

で設定した目的や評価範囲に照らして、インベントリー分析やインパクト評価の結果を解釈する。

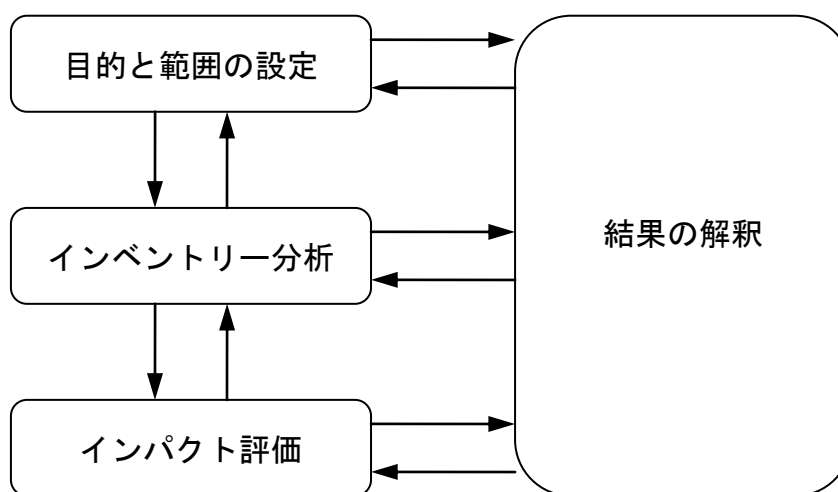


図 2.2.1 LCAの構成要素

LCAにおいては、上記(1)～(4)までの全ての手順を行うことが望ましいが、(3)のインパクト評価に関しては様々な手法が提示されていること、正確なインパクト評価を行うためにはできる限り多くの環境影響項目（CO₂,CH₄,SO_x,NO_xなど）について(2)のインベントリー分析を行うことが必要となることなどから、今回は(3)のインパクト評価は行っていない。(4)の結果の解釈については各製材所の製材、また、他の木質系建材のCO₂排出量について行った。

<目的と評価範囲の設定>

一般的に、LCAの結果は、同一の機能やサービスを持つ製品同士間の比較や、製品やサービスの改善点の抽出・改善効果の検討などに利用することができる。

今回の木質系建材のLCAにおいては、異なる種類の木質系建材の環境負荷を把握することを目的とする。

LCA評価を行うにあたり、機能単位と、システムの境界を明記しなければならない。「機能単位」とは、対象とする製品の機能やサービスの単位であり、「システム境界」とは、対象とするサービスやシステムの境界である。

今回は、木材加工製品を中心に評価を行ったため「m³」を機能単位とした。「木材の伐採か

ら木質系建材の製造」までをシステム境界とする。評価システムとして、輸送、使用、廃棄までの評価はおこなっていない。製材品を始めとする木質製品の製造には、その製品そのものを製造することによって発生する環境負荷と、その製品を製造するためのプラントの建設や各種製造機械の製造によって発生する環境負荷があるが、今回の評価システムでは、後者の「資本財生産に関わる環境負荷」については考慮していない。

<インベントリー分析>

設定した機能単位とシステム境界において、製品やサービスのライフサイクルを通して投入される資源や排出される廃棄物について計算を行うのがインベントリー分析である。今回のLCAでは、各木質系建材の環境負荷を把握するために、インベントリー分析の評価軸はCO₂排出量のみとした。

インベントリー分析の第一段階は、プロセスツリーの作成である。このプロセスツリーは、設定したシステム境界内における全プロセスを樹形図（ツリー）状に描いたものである。プロセスツリーを作成し、LCAのシステム範囲を明確にした後、このプロセスツリーに描かれたプロセス全てについて、その各プロセスにおける物質収支（今回はCO₂排出量）を計算する。この計算方式には、以下にあげる2つの方法がある。

- ・積み上げ法
- ・産業連関法

各プロセスにおけるインベントリデータ（物質収支に関するデータ）を収集し、一つ一つのプロセスごとの計算結果を合算する方法が①積み上げ法である。

一方、すでに存在する産業連関表（総務省）を応用してこの計算を行うのが②産業連関法である。産業連関表は、日本国内の各産業間の相互関係を取引された金額で表現した表で、この表を用いれば、ある産業から製品やサービスを購入した際に、波及的に起こる生産を金額ベースで計算することができ、この金額を環境負荷に変換することができる。

積み上げ法では、個々のプロセスにおける環境負荷を調査して積み上げることから、詳細なプロセス分析が可能な反面、建築物のように多様な資材を用いる製品では、データ収集が現実的に困難である。一方、産業連関法は、産業連関表を基礎データとして利用することから、分析の精度あるいは確度は落ちるものの、包括的な分析が可能であり、これまで土木構造物・建築物の分析で汎用されてきた。今回のLCAにおいては、数ある建築資材の中でも「建築用木材」というひとつの材料に注目して、「建築用木材」という同じ分類の中でも生産体制や建築構法など異なる事例を抽出して、各事例間の差異を分析することに重点をおいている。そのため、可能な限りLCAは「積み上げ法」によるものとし、インベントリデータが不明な場合などやむをえない場合に限り「産業連関法」を併用することとする。

具体的な算定方法については、環境省：温室効果ガス総排出量算定方法ガイドライン 排出係数一覧表, 2007.3(参考文献*1 とする)を参考にする。

LCAの対象とするのは、対象事業者からの[1]直接排出及び、[2]電気・熱の使用に伴う間接排出とする。

[1]の直接排出とは、事業者が所有または経営支配下においている施設・設備から発生した温室効果ガスの排出の事を指す。具体的には、工場などにおける化石燃料の燃焼による排出、生産プロセスにおける排出、事業者が使用する自動車からの排出などが該当する。



図 2.2.2 直接排出の例²

[2]の電気・熱の使用に伴う間接排出とは、事業者が他者から供給された電気・熱を使用したときに、その電気・熱を作るに当たって電気事業者あるいは熱事業者が所有または経営支配下においている施設・設備から発生する温室効果ガスの排出のことを言う。

間接排出にはこのほか、需要発生者としての間接排出、製品などの供給による間接排出などがあるが、電気・熱の使用に伴う間接排出を特に取り上げる理由としては、電気・熱のエネルギーがほぼ全ての事業者によって使用されており、かつ、多くの事業者にとって、温室効果ガスを削減するよい機会となっているからである。

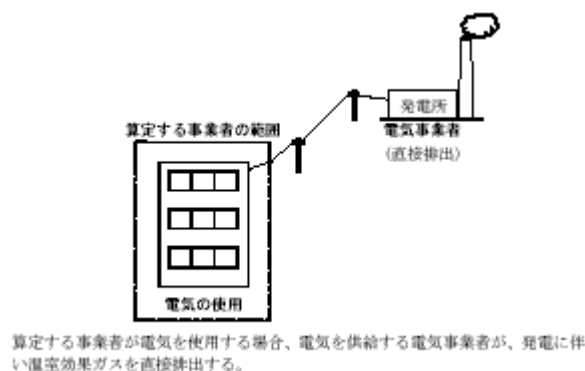


図 2.2.3 電気・熱の使用に伴う間接排出の例³

²環境省：温室効果ガス総排出量算定方法ガイドライン 排出係数一覧表, 2007.3

³ 同上

排出量算定式を以下に示す。

[1]直接排出

石炭、ガソリン、重油などの化石燃料ごとの燃料としての使用量に、排出係数を乗じて合算する。

燃料ごとの排出量の算定式は以下の通りである。

$$\text{算定式 A : 排出量(kg-CO}_2\text{)} = \text{燃料使用量 (kg,}\ell\text{,Nm}^3\text{)} \times \text{排出係数(kg-CO}_2\text{/ kg,}\ell\text{,Nm}^3\text{)}$$

各燃料の排出係数は、表にまとめた既定値を用いる。

単位発熱量・排出係数の出典は、環境省：「温室効果ガス総排出量算定方法ガイドライン 排出係数一覧表」, 2007.3

表 2.2.1 一般的な燃料の種類と単位発熱量・排出係数

燃料の種類	単位	単位発熱量	排出係数
			CO ₂
ガソリン	ℓ	34.6 [MJ/ℓ]	2.32 [kg-CO ₂ /ℓ]
灯油	ℓ	36.7 [MJ/ℓ]	2.49 [kg-CO ₂ /ℓ]
軽油	ℓ	38.2 [MJ/ℓ]	2.62 [kg-CO ₂ /ℓ]
A 重油	ℓ	39.1 [MJ/ℓ]	2.71 [kg-CO ₂ /ℓ]

工場内で使用された燃料量などは、燃料の種類ごとに燃料供給者の請求書、納品書や事業者による使用記録又は購入記録などにより把握が比較的簡単である。

一方、把握困難なのが自動車燃料の消費量である。平成 18 年経済産業省告示 66 号「貨物輸送事業者に行わせる貨物の輸送に係るエネルギーの使用量の算定の方法」(参考文献*4 とする)によれば、輸送事業者の輸送にかかる排出量の使用量の算定には、「燃料法」、「燃費法」、「トンキロ法」の 3 つの方法がある。

²平成 18 年経済産業省告示 66 号「貨物輸送事業者に行わせる貨物の輸送に係るエネルギーの使用量の算定の方法」

・「燃料法」

「燃料法」は、輸送に使用した燃料量が把握できる場合に、算定式 A を用いて排出量を求める方法である。ただし、複数の荷主の貨物を混載して輸送する場合は、対象とする貨物（今回は原料となる原木や、製材品）の全貨物に占める割合（重量ベースが望ましい）及び、全輸送距離に占める対象貨物の輸送距離の割合を求め、按分する必要がある。自動車燃料の消費量が直接把握できない場合は、代替手段として、「燃費法」、「トンキロ法」を用いることができる。

・「燃費法」

「燃費法」は、予め定められた個々の輸送機関の燃費による燃料消費量を算出し、単位発熱量を乗じ、さらに排出係数を乗じて排出量を求める方法である。よって、算定のために必要となるデータは輸送距離のみとなる。ただし、「燃料法」の場合と同様に、混載の場合など適時按分を行う必要はある。

輸送機関ごとの排出量の算定式は以下の通りである。

$$\text{算定式 B : 排出量(kg-CO}_2\text{)} = \{\text{輸送距離(km)} / \text{燃費(km/l)}\} \times \text{単位発熱量(MJ/l)} \\ \times \text{排出係数(kg-CO}_2\text{/MJ)}$$

各輸送機関の燃費は、次ページの表 3.3.2 の「燃費」列にまとめた既定値を用いる。また、

各燃料の単位発熱量、排出係数は表 3.3.1 の値を用いる。

・「トンキロ法」

「トンキロ法」は、輸送機関の最大積載量と積載率からトンキロ当りの燃料消費量を算出し、それに貨物輸送量（トンキロ）を乗じて燃料消費量を求める。

混載貨物でも把握可能であり、車両の大型化や積載率向上がトンキロ当りの燃料消費量に反映できる点が特徴である。

輸送機関ごとの排出量の算定式は以下の通りである。

$$\text{算定式 C : 排出量(kg-CO}_2\text{)} = \{\text{輸送貨物の重量 (t)} \times \text{輸送距離(km)} \times \text{貨物輸送量あたりの燃} \\ \text{料使用量(l/トンキロ)}\} \times \text{単位発熱量(MJ/l)} \times \text{排出係数(kg-CO}_2\text{/MJ)}$$

各輸送機関の貨物輸送量あたりの燃料使用量は、次ページの表 3.3.2 の「貨物輸送量あたりの燃料使用量」列にまとめた既定値を用いる。また、各燃料の単位発熱量、排出係数は表 3.3.1 の値を用いる。

表 2.2.2 輸送機関の燃費

輸送の区分			燃費(km/l) (算定式 B に使 用)	貨物輸送量あたり の燃料使用量(l/ト ンキロ) (算定式 C に使用)
	使用する 燃料	最大積載量		
事業用貨物 自動車	ガソリン	軽自動車	9.33	0.741
		2t 未満	6.57	0.472
		2t 以上	4.96	0.192
	軽油	1t 未満	9.32	0.592
		1t 以上 2t 未満	6.19	0.255
		2t 以上 4t 未満	4.58	0.124
		4t 以上 6t 未満	3.79	0.0844
		6t 以上 8t 未満	3.38	0.0677
		8t 以上 10t 未満	3.09	0.0575
		10t 以上 12t 未満	2.89	0.0504
12t 以上 17t 未満	2.62	0.0421		
自家用貨物 自動車	ガソリン	軽自動車	10.3	2.74
		2t 未満	7.15	1.39
		2t 以上	5.25	0.394
	軽油	1t 未満	11.9	1.67
		1t 以上 2t 未満	7.34	0.530
		2t 以上 4t 未満	4.94	0.172
		4t 以上 6t 未満	3.96	0.102
		6t 以上 8t 未満	3.53	0.0820
		8t 以上 10t 未満	3.23	0.0696
		10t 以上 12t 未満	3.02	0.0610
12t 以上 17t 未満	2.74	0.0509		

[2]間接排出

- ・電力供給事業者から供給された電気の使用

対象事業者に供給された電気の使用量(kWh)を電力供給事業者ごとに把握し、排出係数を乗じて合算する。なお、事業者自ら発電した場合の電気使用量については、発電に用いた燃料の使用量に基づき、[1]の直接排出で算定されるため、[2]では計算の対象外とできる。電力使用量は、電力会社との請求書などから容易に把握することができる。

算定式は以下の通りである。

$$\text{算定式 D : 排出量(kg-CO}_2\text{)} = \text{電気使用量 (kWh)} \times \text{排出係数(kg-CO}_2\text{/kWh)}$$

排出係数については、化石燃料の排出係数と同じ出典から用いた。排出係数の出典は、環境省の報道発表「平成 18 年度の電気事業者別排出係数の公表について」(参考文献¹⁾)

表 2.2.3 電力排出係数

間接排出 電力供給事業者別排出係数

事業社名	排出係数(kg-CO ₂ /kWh)
北海道電力(株)	0.479
東北電力(株)	0.441
東京電力(株)	0.339
中部電力(株)	0.481
北陸電力(株)	0.457
関西電力(株)	0.338
四国電力(株)	0.392
九州電力(株)	0.375

・熱供給事業者から供給された熱の使用

熱供給事業者から供給された熱の使用量(MJ)に排出係数を乗じて合算する。なお、対象事業者自らが発生させた熱の使用量は、[1]に含まれるため計算の対象外となる。

算定式は以下の通りである。

算定式 E : 排出量(kg-CO ₂)=熱使用量 (MJ) ×排出係数(kg-CO ₂ /MJ)
--

排出係数については、可能な限り各熱供給事業者から提出された排出係数を把握することが望ましいが、熱供給事業者からの排出係数の提供を受けられない場合には、0.067kg-CO₂/MJ の排出係数を用いて算出した。

以上、LCA算定についての一般論を述べた。

2-2-2 本論でのLCA

対象業者に対して行った調査では、資材投入量、生産量、生産工程、エネルギー使用量などのデータを把握した。

本来、LCAを算定するのであれば、製品ごとの、あるいは製造ラインごとの資材投入量、生産量、エネルギー消費量から排出量を算定するべきである。しかし今回の調査では、それぞれの業者は工場全体あるいは会社全体でのエネルギー消費量しか把握していないことが分かった。

したがって製造工程や製品の生産量等を加味しながら、エネルギー消費量を按分することで環境負荷を算定した。

川上側の3事例の環境負荷算出においては、熊本県のS工務店、高知県のY森林組合のご協力をいただき、また既往研究⁴から秋田県のS協同組合、T製材工場、プレファブ住宅メーカーS社のデータを引用し、LCA算定を行うことができた。

川上側の各工程「伐採・製材・乾燥・加工（プレカット）」と工程間の材の輸送段階にわけて、CO₂排出量を計算した。尚、プレカット工場から施工現場までの輸送は含めないものとした。プレカット工場から施工現場までの輸送距離を加味したLCAの分析は、4章で行う。

さらに、ここでは乾燥方法の違いによる4つタイプわけを行い、CO₂排出量を計算した。タイプ分けは以下のとおりである。

「事例S 天然乾燥タイプ」・・・山で葉がらし乾燥され、その後も天然乾燥によって製品化された場合。

「事例Y 燃油と木質バイオマスによる人工乾燥タイプ」・・・乾燥工程に必要な燃料を昼間は木質バイオマス、夜間は燃油により賄う場合。

「事例AA 燃油による人工乾燥タイプ」・・・乾燥工程に必要な燃料を燃油によって賄う場合。」(S協同組合)

「事例AN 木質バイオマスのみによる人工乾燥タイプ」・・・乾燥工程に必要な燃料を木質バイオマスのみで賄う場合。(T製材工場)

「事例I・・・輸入タイプ」・・・北欧で製材乾燥された場合。

ここで、全4事例に共通する計算方法について述べておく。本項では、2-2-1で述べた計算方法と原単位を使ってCO₂排出量の計算を行う。

生産段階を①伐採段階、②製材段階、③乾燥段階 ④再加工段階と各工程間の輸送（例：輸送①②）の小段階に分割し、計算する。

本論での製材段階と乾燥段階については、以下の工程を差す。

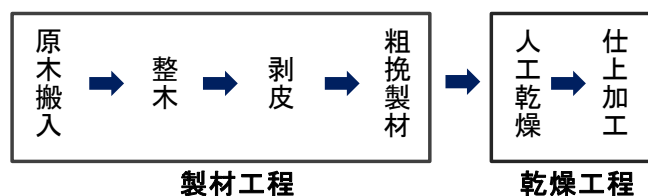


図 2.2.4 製材段階と乾燥段階の定義

製材製造工程は、原木は工場内に搬入された後（原木搬入）、樹種別・長さ別に仕分けられる（整木）。仕分けされた原木はリングバーカーにより皮を剥がされ（剥皮）、用途別に角材として切り出される。ここでは乾燥による収縮分をプラスした寸法で切り出される。梶原町森林組合で加工している角材は大きく「ひき角類」、「ひき割類」、「板類」に分類される（粗挽製材）。その後規定の含水率まで乾燥した後（人工乾燥・天然乾燥）、最後に微調整される（仕上げ加工）。本研究では、整木・剥皮・粗挽製材の3工程を合わせて「製材工程」、人工乾燥・仕上げ加工の2工程を合わせて「乾燥工程」と定義する。製材加工工程においては、製品ごとのエネルギー消費量を把握できなかったものについては、工場全体のエネルギー消費量を製品ごとに按分して環境負荷を算定した。算定するにあたり、まず製材加工の工場全体の工程を、製材工程と乾燥工程に分けた。製材工程は、工場内での乾燥工程以外の全ての工程を含むものとする。乾燥工程は天然乾燥と人工乾燥機による人工乾燥工程とする。

次に工場内で消費されるエネルギーの按分について説明する。

電力は、工場内の製材機の動力、人工乾燥機の動力、事務所の電力、など工場のあらゆる場所で消費されているが、特に製材機械の動力に電力を使うと仮定し、電力は全て製材工程で使われているものと設定した。

灯油は、灯油焚きボイラーの燃料や暖房器具の燃料として使われることが多い。暖房としての利用料はボイラーのそれと比べてかなり小さいと予想できるため、灯油は全て乾燥工程で使われていると設定した。

A 重油は、重油焚きボイラーの燃料として使われる。したがって A 重油は全て乾燥工程で使われていると設定した。

軽油は、場内搬送用のフォークリフトの燃料として使われている。上記より場内搬送は製造工程に含むとしたので、軽油は全て製材工程で使われていると設定した。ただし、事例 S の製材後の乾燥工程で、材の移動に使用するフォークリフトに使用される軽油は、乾燥工程の一次加工に使用されるとみなし、乾燥工程で使用されていると設定した。

木質系燃料は、木屑焚きボイラーで燃料として利用されている。木材はカーボンニュートラルの考えから燃焼させても CO₂排出量は 0 であるとする。

以上を表にまとめた。

表 2.2.4 製材加工工程における投入エネルギーのまとめ

投入エネルギー	用途	按分
電力	機械、乾燥機、事務所など	製材工程
灯油	ボイラー、暖房	乾燥工程
A 重油	ボイラー	乾燥工程
軽油	フォークリフト	製材工程・乾燥工程（事例 S のみ）
木質系燃料	ボイラー	乾燥工程

製材所では、複数の製品を製造していることが一般的である。今回の調査で対象とした業者でも、複数の製品を製造している業者があった。しかしながら多くの業者は自社の投入エネルギー量を会社全体でしか把握できないため、今回は環境負荷を算定するために投入エネルギーを製品ごとに按分した。按分方法に関しては、各業者の算定の箇所に触れる。

なお、以降の文中に出てくるひき角類、ひき割類、板類とは製材品の種類のことである。財団法人日本木材総合情報センターの HP⁵によると、それぞれの製材品の規格は次のようになっている。

ひき角類：厚さおよび幅が 7.5cm 以上のもの。正角と平角の 2 種がある。

ひき割類：厚さが 7.5cm 未満で幅が厚さの 4 倍未満のもの。小割と平割の 2 種がある。

板類：厚さが 7.5cm 未満で幅が厚さの 4 倍以上のもの。板、小幅板、斜面板、厚板の 4 種がある。

⁵ <http://www.jawic.or.jp/>

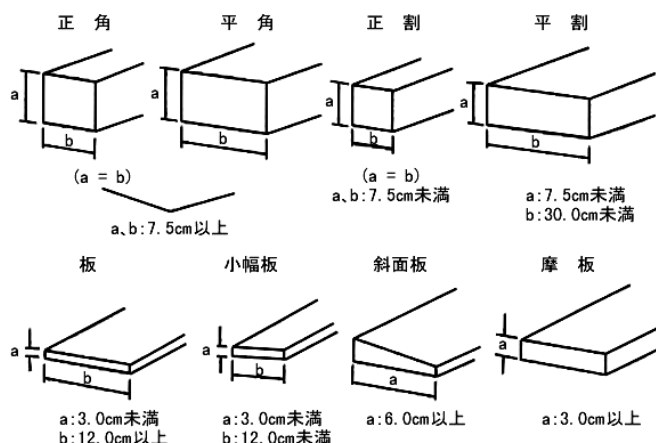


図 2.2.5 製材品の寸法

また各製材品の主な用途は表の通りである。

表 2.2.5 製材品の主要用途

板類	板	天井板、羽目板、廊下板、下見板、野地板、畳下板
	小幅板	木ずり、ぬき、腰羽目板
	斜面板	南京下見板、長押、平よど、畳よど
	厚板	構板、敷居、足場板、階段板
ひき割類	正割	さお縄、たる木、まわり縄
	平割	敷居、鴨居、間柱、胴縁、幅木、窓枠材
ひき角類	正角	柱、土台、母屋、束、棟木
	平角	梁、けた、上り樫、縁行

機能単位は木造住宅に使用される木材（ひき角・ひき割り・板類を含む） 1m^3 とする。ただし、秋田県のS社は木質パネル構法の事例Iでは、ひき角・ひき割り・板類の区別ができないため、北欧で生産されるパネル芯材を対象とする。「機能単位」という厳密な意味からは、パネル構法の場合パネル芯材のほかに面材として合板も対象とすべきであるが、今回は合板の生産工程に関しては調査ができなかったため対象外とする。

事例Iの北欧での一部の輸送を除き、陸上輸送は全てトラックによる。帰りの利用状況について調査ができなかった事例もあったため今回は往路のみの CO_2 排出量を計算する。聞き取り調査でトラックのトン数を明らかにできなかった場合は、原木輸送は 10t トラック、製材輸送は 4t トラックを使用したものとする。

輸送回数や、一回の運送当たりの m^3 数が聞き取り調査により明らかになっている場合は「燃費法」、得られなかった場合は「トンキロ法」によって輸送による CO_2 排出量を計算す

る。トンキロ法で必要となる木材の比重については、スギの全乾比重を 0.33 として、丸太を含水率 100%の 0.66($1 \text{ m}^3=0.66\text{t}$)、乾燥製材を含水率 15%の 0.38 m^3 ($1 \text{ m}^3=0.38\text{t}$) とする。S社でパネル芯材の原料としているホワイトウッドについても比重はスギと同じとする。以上のような計算方法により、CO₂排出量の計算を行った。以下、順に結果を示す。

2-2-3 川上側の環境負荷の計算

「事例S 天然乾燥タイプ」

事例Sは、山で伐採された原木1年以上かけて（柱・梁は約2年）葉がらし乾燥・製材天然乾燥を行い、住宅生産を行っている。事例Sは、熊本県内にある工務店であるが、川上側をマネジメントしながら、住宅生産を行っているため、伐採・製材・乾燥・加工（プレカット）工程での環境負荷の算出に必要な資源投入量、生産量、エネルギー使用量などを把握することができた。

以下、事例Sの調査で得られたデータを住宅生産の工程別にまとめる。

ここでは、住宅生産フローの中での環境負荷を把握する。
以下、まとめたものを表に示す。（太字は、LCA算定に使用したデータ）

表 2.2.6 事例Sで得られたデータ

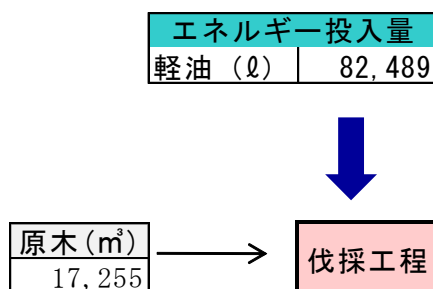
工程	取得データ	
①伐採	年間消費軽油量：82489ℓ	年間伐採量：17255 m ³
②葉がらし乾燥	—	
輸送 35km ※今回は、I 林業の場合を想定した。	(I 林業) 11 t 車：15～20 m ³ /回 161 回/年	20 t トレーラー：30 m ³ /回
③原木乾燥	—	
輸送 1 km	4 t 車：8.5 m ³ /回 平均積載量：8.510 m ³	
④製材工程	年間使用灯油量：1948.52ℓ/年 (おぎのこの潤滑油) 年間使用軽油量：6,163ℓ (フォークリフト) 年間使用電力量：56,239kwh	年間製材量：5480.755 m ³
輸送 9 k m (土場T) /27 k m(土場H) (50 : 50) ※今回は、9 kmと設定	年間使用ガソリン量：3896.81ℓ 年間使用軽油量：1,683ℓ (トラック) 4 t 車：5 m ³ /回 (114 回)、6 t 車：7 m ³ /回 (104 回) 10 t 車：14 m ³ /回 年間運搬量：2,737 m ³ (概算) 車両燃料費：1,691,104 円	
⑤製材天然乾燥	年間使用軽油量：10,135ℓ (多良木) 1397ℓ (人吉)	
輸送 18 k m (土場Hから)	4 t 車：4.8 m ³ /回 6 t 車：8.7 m ³ /回 10 t 車：24.3 m ³ /回	年間車両費：2,743,537 円
⑥1次加工・寸法仕上げ	年間使用電力量：205,416K w h	年間加工量：7,247 m ³ (年間出荷数：8327 m ³)
輸送 118 k m	20 t トレーラー：40 m ³ /回	
⑦プレカット	年間電気使用量：303,179K w h	年間プレカット量：構造材 約 3,950 m ³ 、 羽柄材 約 650 m ³
輸送 X km	5 t 車、7 t ユニック 一棟あたりの運搬回数：5～6回にわけて運搬 (土台1回、構造材2回～3回、上棟材1回～2回、羽柄材1回)	

⑧建設現場

主に熊本県内、一部福岡市

ここで、各工程の CO2 排出量の計算結果を下記に示す。

【伐採段階】



本調査で得られたデータより、燃料法で算定式 A を用いて算出。

- ・ 1m³ 伐採する際の電力・燃料消費量[kWh(L)/m³]
= 電力・燃料消費量[kWh(L)] ÷ 製材生産量[m³]

$$82,489 \div 17,255 \text{ m}^3 = 4.780 \text{ L/m}^3$$

- ・ 燃料種別の排出係数[kg-CO₂/L]

$$= \text{単位発熱量[MJ/L]} \times \text{炭素排出係数[kg-C/MJ]} \times 44/12$$

$$4.780 \text{ L/m}^3 \times 38.2 \times 1.87 \times 10^{-3} \times 44/12 = \mathbf{12.53 \text{ kg-CO}_2/\text{m}^3}$$

【輸送①②】

伐採現場から原木乾燥土場までの輸送距離は 3.5 km である。I 林業で、1.1 t 車で一回に平均 14.03 m³ 運んでいた。

燃費法で算定式 B を用いて算出。

$$3.5 \text{ km} \div 2.89 \times 2.62 \div 14.03 = \mathbf{2.26 \text{ kg-CO}_2/\text{m}^3}$$

【③原木乾燥】

ここでは、材の移動などはほとんどないため、エネルギー使用はないものとする。

【輸送③④】

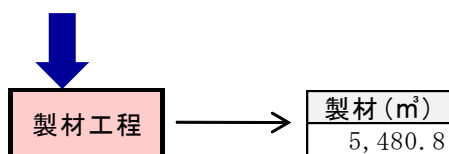
原木乾燥土場から製材所までの輸送距離は 1 km である。4 t 車で一回平均 8.51 m³ 運んでいた。

算定式 B より、

0.08 kg-CO₂/m³

【④製材工程】

エネルギー投入量	
軽油 (ℓ)	1,948.5
灯油 (ℓ)	6,163.0
電力 (Kwh)	56,239.0



算定式 A を用いて、算出。

軽油： **0.885 kg-CO₂/m³**

灯油： **2.945 kg-CO₂/m³**

電力： **3.847 kg-CO₂/m³**

計： **7.679 kg-CO₂/m³**

【輸送④⑤】

ここで、製材所で使用するトラックと乗用車の年間の軽油使用量とガソリン使用量が得られたが、製材所から製材乾燥材土場までの輸送距離は9 kmである。

今回は、4t 車で一回 4.565 m³、6t 車で一回 7.015 m³運んでいると仮定した。

また、調査で得られた年間の輸送回数（4t 車で年間 114 回、6t 車で年間 104 回）より、按分した。

算定式 B を用いて $(9 \div 3.79 \times 2.62 \div 4.565 \times 114 \div 218) + (9 \div 3.38 \times 2.62 \div 7.015 \times 104 \div 218) = 1.19 \text{ kg-CO}_2/\text{m}^3$

【⑤製材乾燥】

ここでは、材の移動に用いるフォークリフトのエネルギー使用のみとした。また、輸送量は、⑥の一次加工工場の年間出荷量 8327 m³と等しいとして按分した。

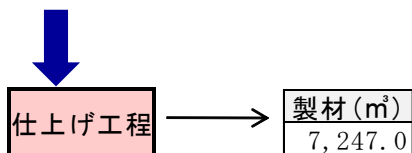
製材乾燥土場での年間の総使用軽油量は、10135（土場 T）+1397（土場 H）=11532ℓ

算定式 A より、**3.63 kg-CO₂/m³**

※ただし、土場 T の軽油には、⑥の一次加工工場での使用分も含まれる。本論での乾燥工程は、乾燥と仕上げ加工（一次加工）までとしているので、問題ないとする。

【⑥一次加工・寸法仕上げ】

エネルギー投入量	
電力 (Kwh)	205,416.0



算定式 A より **10.63 kg-CO₂/m³**

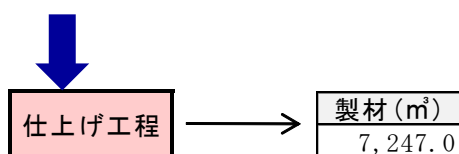
【輸送⑥⑦】

プレカット工場までの輸送距離は、118kmである。一回に20tトレーラーで約40m³運んでいる。

算定式Bより、**3.86 kg-CO₂/m³**

【⑦再加工（プレカット）】

エネルギー投入量	
電力 (Kwh)	205,416.0



算定式Aより **24.72 kg-CO₂/m³**

【事例S全体】

表 2.2.7 事例Sの伐採からプレカットまでの CO₂ 原単位(kg-CO₂/m³)

伐採	輸送あ	製材	乾燥	輸送い	ト プレ 加工
①	原木輸送	④	⑤	製材輸送	⑦
12.53	2.34	7.68	14.26	5.05	24.72

事例Sは、他事例よりも工程が分割されている分、工程間の輸送が多い。他事例と比較するにあたって、簡単のため、原木輸送分を「輸送あ」、製材輸送分を「輸送い」にまとめた。

尚、乾燥工程には一次加工と土場でのフォークリフトの使用による軽油由来のCO₂原単位を含む。

「事例Y 燃油と木質バイオマスのよる人工乾燥タイプ」

事例Yは、高知県のY森林組合で、木質ボイラーにより、乾燥工程で使用するエネルギーを、昼間は製材時に発生した端材などから木質バイオマスにより賄い、夜間は重油で賄いながら、原木の製材と乾燥を行っている事例である。

以下、事例Yの調査で得られたデータを製材工程と乾燥工程別にまとめる。

表 2.2.8 事例 Y で得られたデータ

原材料	スギ(m ³)	6330		
	ヒノキ(m ³)	1582		
未乾燥材生産量	スギ(m ²)	1398	ひき角類 (m ³)	420
			ひき割類 (m ³)	522
			板類(m ³)	456
	ヒノキ(m ³)	350	ひき角類 (m ³)	105
			ひき割類(m ³)	131
			板類(m ³)	114
乾燥材生産量	スギ(m ²)	1474	ひき角類(m ³)	443
			ひき割類(m ³)	551
			板類(m ³)	481
	ヒノキ(m ²)	369	ひき角類(m ³)	110
			ひき割類 (m ²)	137
			板類(m ²)	120

尚、製材製造工程では、主産物である製材以外にチップやおがくずも副産物として生産されるため、電力・燃料消費量を生産物の材積比率に即して配分した。その結果が下の表である。

表 2.2.9 電力・燃料消費量の配分

		製材	未乾燥材	チップ	おがくず	木くず
製材工程	電力[kWh]	120481	84749	133086	45283	0
	軽油[L]	6445	4533	7119	2422	0
	灯油[L]	3391	2385	3746	1274	0
乾燥工程	電力[kWh]	182403	—	—	—	0
	A重油[L]	115208	—	—	—	0

表 2.2.10 工程別の年間エネルギー量

製材工程		
年間使用エネルギー	主な用途	年間使用エネルギー量
電力消費量(kWh)	選木機、リングバーガー 帯鋸盤全自動走材車、 ツイン丸鋸	383,599
軽油消費量(L)	フォークリフト	20,520
灯油消費量(L)	潤滑油	10,796
乾燥工程		
年間使用エネルギー	主な用途	年間使用エネルギー量
電力消費量(kWh)	ファン	182,403
A重油消費量(L)	ボイラ	115,208
木屑(m³)	ボイラ	881

木くずの環境負荷に関しては、乾燥材製造時にバイオマス燃料として利用されることから乾燥材に配分している。既往研究⁶を参考に、乾燥材はひき角類・ひき割類・板類の3種類に分類して算出し、各材に必要なエネルギーは材の厚さに依存するものと仮定して乾燥スケジュールから下記の通りにエネルギー投入量を案分した。

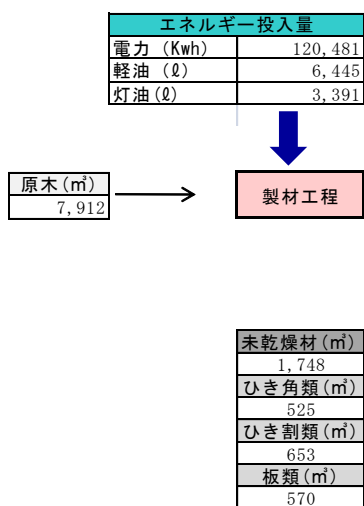
乾燥スケジュール		比で按分	乾燥スケジュール	
ひき角材	120°C24h→100°C7~8日		ひき角材	9
ひき割材	120°C24h→100°C5日	ひき割材	6	日
板材・ラミナ	板類: 100°C4日	板材・ラミナ	4	日
	薄板: 70°C~80°C3~4日			

⁶東京大学新領域創成科学研究科修士論文「木質系建材の製造時の環境影響とその評価システムに関する研究」

製材工程	電力	59.44	Kwh/m ³
	軽油	3.18	ℓ/m ³
	灯油	1.67	ℓ/m ³
乾燥工程(ひき角)	電力	142.57	Kwh/m ³
	A重油	90.05	ℓ/m ³
乾燥工程(ひき割)	電力	95.04	Kwh/m ³
	A重油	60.03	ℓ/m ³
乾燥工程(板類)	電力	63.36	Kwh/m ³
	A重油	40.02	ℓ/m ³

以下、得られたデータから製材工程・乾燥工程別に環境負荷を算出する。

【製材工程】



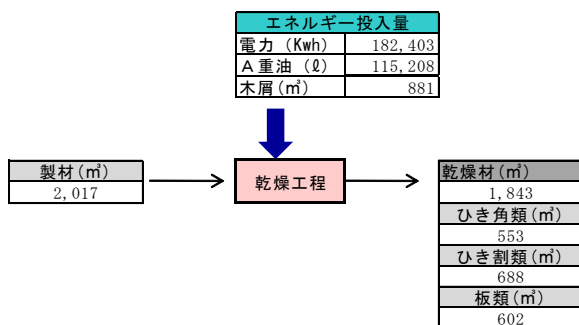
算定式Aより、

電力：**2.33 kg-CO₂/m³**

軽油：**8.33 kg-CO₂/m³**

灯油：**4.17 kg-CO₂/m³**

【乾燥工程】



算定式Aより

ひき角類

電力：**55.9 kg-CO₂/m³**

A重油：**244 kg-CO₂/m³**

ひき割類

電力：**37.3 kg-CO₂/m³**

A重油：**163 kg-CO₂/m³**

板類

電力：**24.8 kg-CO₂/m³**

A重油：108 kg-CO₂/m³ひき角類・ひき割類・板類の工程ごとのCO₂原単位は以下のようになる。

表 2.2.11 ひき角類・ひき割類・板類の工程ごとのCO₂原単位
製材乾燥工程のCO₂原単位

製材工程	電力	23.3	35.8	kg-CO ₂ / m ³
	軽油	8.33		
	灯油	4.17		
乾燥工程（ひき角）	電力	55.9	299.9	kg-CO ₂ / m ³
	A重油	244		
乾燥工程（ひき割）	電力	37.3	200.3	kg-CO ₂ / m ³
	A重油	163		
乾燥工程（板類）	電力	24.8	132.8	kg-CO ₂ / m ³
	A重油	108		

「既往研究⁷（事例AA・事例AN・事例I）」

本研究では、本研究室のこれまでの研究から秋田県の川上の環境負荷を引用する。具体的には、H素材生産者、ME伐採業者、S協同組合（事例AA）、T製材所（事例AN）、Hプレカット工場、北欧材の事例Iの環境負荷を引用する。

以下、【伐採】【製材・乾燥】【加工(プレカット)】の工程ごとに環境負荷の値をまとめる。

【伐採】

既往研究⁸より、H素材生産者、ME伐採業者（北欧）の伐採時のCO₂原単位を以下に示す。

表 2.2.12 H素材生産者・ME伐採業者のCO₂原単位

	CO ₂ 排出量(kg-CO ₂ /m ³)
H素材生産業者	22
ME伐採業者	4

【製材・乾燥】

「事例AA 燃油による人工乾燥タイプ」

既往研究⁹より、事例AAの製材工程の環境負荷をここに示す。

事例AAは、秋田県のS協同組合で化石燃料による人工乾燥材の製造している製材所である。

S協同組合(製材工場)における製材の年間生産量を次の表、工場内消費エネルギーを次の表に示す。

表 2.2.13 協同組合(製材工場)の年間生産量と消費エネルギー量

製品の種類	年間生産量(m ³ /年)
ひき角類	4,683
ひき割類	2,075
板類	2,333

⁷東京大学新領域創成科学研究科修士論文「建築用木材の資源循環性とその活用方法に関する研究～木造住宅を中心とした木材のライフサイクル分析～」伊吹 美佳

⁸藤原奨「秋田スギを用いた地域生産型住宅の生産過程における環境評価」秋田県立大学 2007 年度卒業論文

エネルギーの種類	年間消費量
電力	917,510 kWh/年
灯油	9,150 l/年
A重油	232,000 l/年
軽油	22,600 l/年
木質系燃料	なし

S 協同組合製材工場も事例Yと同じように複数の製品を製造している。そこで各製品への投入エネルギーの按分は同じ設定にして環境負荷を算定した。

したがって S 協同組合(製材工場)における生産量あたりの CO₂排出量は、以下のようになる。

表 2.2.14 事例 AA の

製材工程	51	kg-CO ₂ / m ³	CO ₂ 原単位
乾燥工程(ひき角)	109	kg-CO ₃ / m ³	
乾燥工程(ひき割)	55	kg-CO ₄ / m ³	
乾燥工程(板類)	18	kg-CO ₅ / m ³	

【製材・乾燥】

「事例 AN 木質バイオマスのみによる人工乾燥タイプ」

T 製材工場における製材の年間生産量を次の表、工場内消費エネルギーを次の表に示す。

表 2.2.15 T 製材工場の年間生産量

製品の種類	年間生産量(m ³ /年)
ひき角類	3,025
ひき割類	2,855
板類	5,760

表 2.2.16 T 製材工場の年間エネルギー消費量

エネルギーの種類	年間消費量
電力	735,300kWh/年
灯油	54,600 l/年
A 重油	なし
軽油	なし
木質系燃料	15,000 m ³ /年

T 製材工場では製品ごとの消費エネルギーは把握できなかつたため、工場全体での消費エネルギーから按分を用いて算定している。

製造工程では、各製品への投入エネルギーはその製品の生産量の体積に比例するものとしている。

乾燥工程では、各製品への投入エネルギーに材の厚さが影響すると考え、重み付けをした。

文献¹⁰によると、スギ材を未乾燥状態から人工乾燥機に入れて乾燥材にするまでの必要日数は、105mm角の材が24-26日、50mm厚の材が11-15日、25mm厚の材が3.5-5日である。このことから各製品への投入エネルギーはひき角類：ひき割類：板類=6：3：1とした。したがってT製材工場における生産量あたりのCO₂排出量は以下ようになる。

表 2.2.17 事例 AN の CO₂原単位

製材工程	28	kg-CO ₂ / m ³
乾燥工程(ひき角)	25	kg-CO ₃ / m ³
乾燥工程(ひき割)	12	kg-CO ₄ / m ³
乾燥工程(板類)	4.1	kg-CO ₅ / m ³

【製材・乾燥】

「事例 I・・・輸入タイプ」

既往研究⁵によるとM社フィンランド工場の06年度の生産量当たりの電力消費量は70.91kWh/m³、乾燥用熱消費量は0.207MWh/m³である。電力および乾燥用の熱は隣接するバイオマス発電所から供給されている。電力・熱以外の工場内のフォークリフトなどの燃料使用量は不明である。

E社バイオマス発電所の電力および熱は、木質燃料と泥炭の混合燃料により生産されており、そのCO₂排出原単位は172g-CO₂/kWhである。

したがって、M社フィンランド工場での製材加工によって発生するCO₂排出量は、

表 2.2.18 事例 I の CO₂原単位①

製材工程	12	kg-CO ₂ / m ³
乾燥工程(パネル)	36	kg-CO ₃ / m ³
計	48	kg-CO ₄ / m ³

【加工 (プレカット)】

H社プレカット工場で使うエネルギーは、既往研究より

表 2.2.19 事例 I の CO₂原単位②

加工工程	12	kg-CO ₂ / m ³
------	----	-------------------------------------

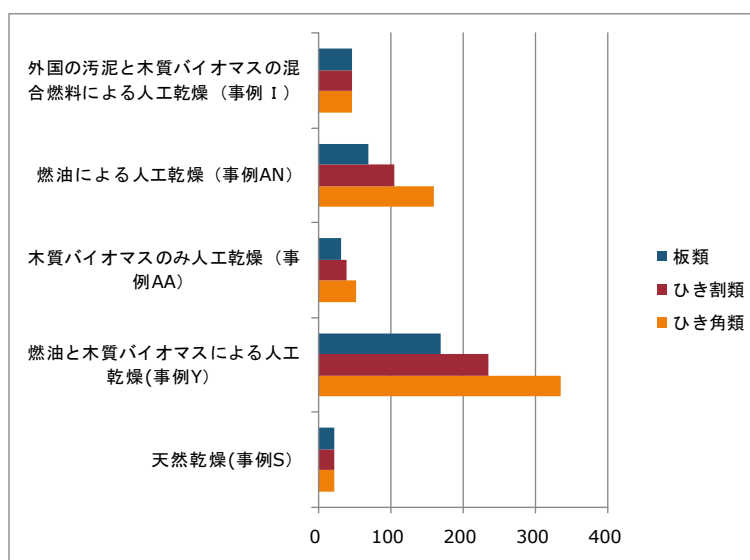
¹⁰ 「木材乾燥のすべて」海青社

2-2-4 各事例の環境負荷の結果

各事例の環境負荷の【製材】【乾燥】工程のみをまとめた。

表 2.2.20 製材乾燥工程の CO2 原単位(kg-CO2/m³)

製材・乾燥工程の比較	ひき角類	ひき割類	板類
天然乾燥(事例 S)	21.937	21.937	21.937
燃油と木質バイオマスによる人工乾燥(事例 Y)	336	236	169
木質バイオマスのみ人工乾燥 (事例 AA)	53	40	32.1
燃油による人工乾燥 (事例 AN)	160	106	69
外国の汚泥と木質バイオマスの混合燃料による人工乾燥 (事例 I)	48	48	48

図 2.2.6 製材乾燥工程の CO2 原単位(kg-CO2/m³)

ここで、一番環境負荷が大きいのは、木質バイオマスと燃油による人工乾燥を行っている事例 Y であるが、これは、おそらく事例 Y は、主に受注生産で、かつ受注量も多くないため工場や乾燥機器の稼働率が悪いことが要因ではないかと考えられる。

天然乾燥は、やはり人工乾燥と比べて環境負荷がかなり低い。

製材工程、乾燥工程の各事例の CO2 原単位の比率は以下のようになっている。

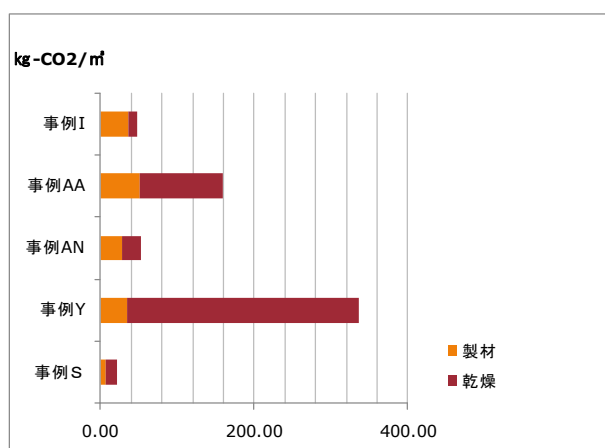


図 2.2.7 各事例の CO₂原単位一覧

表 2.2.21 各事例の CO₂原単位一覧

乾燥・ 製材工程別	kg-CO ₂ /m ³	
	製材	乾燥
事例 S	7.68	14.26
事例 Y	35.5	299.9
事例 AN	28	25
事例 AA	51	109
事例 I	36	12

事例 I 以外は、乾燥工程のほうが、製材工程より乾燥工程での CO₂ 原単位が大きい。

2-2-5 川上側の環境負荷のまとめ

本節では、「事例S 天然乾燥タイプ」「事例Y 燃油と木質バイオマスのよる人工乾燥タイプ」「事例AA 燃油による人工乾燥タイプ」「事例AN 木質バイオマスのみによる人工乾燥タイプ」「事例I・・・輸入タイプ」の4タイプの乾燥方法別にCO₂排出量による環境負荷が把握できた。

本論の結果より、環境負荷が一番小さいものは、天然乾燥で、次に低いのは木屑ボイラーのみによる乾燥を行っている事例ANであった。しかし、木屑と重油による乾燥を行っている事例Yが、全事例の中で一番環境負荷が大きかった。これは、工場の稼働率の問題だと考えられ、木屑を使用する場合でも、必ずしも環境に優しいとは限らないということが分かった。

3章 川下側の設計事例・取り組み・課題

3-1 川下側の設計事例

3-2 川下側の取り組み・課題

3章 川下側の設計事例

3章では、木材の伐採や製材に関わる川上側の現状と資源循環のための課題を把握した。本章では、木材を使用する立場にあるハウスメーカーや工務店、建築設計事務所などの住宅生産に関わる川下側の主体の現状と取り組み、資源循環のための課題を把握する。

対象とした設計者タイプは、生産規模と、設計者と川上側と関係から、それぞれ異なるものを選定した。以下の表に、対象事例とタイプを示す。

		設計者と川上との関係		
		川上干渉型		川上受入選択型
		川上マネジメント型		
生産規模	量産型	事例SR	事例S	事例D
	小規模型	—	事例U	事例MS

図 3.1 : 事例タイプの分類

3-1 川上側の設計事例

一川上干渉量産型「事例S」一

天然乾燥材による住宅供給を行う工務店S

概要

熊本市内にある工務店で、注文住宅建築・増加改築・木材加工を主たる業務としている。グループ会社も合わせ、年間約 200 棟の住宅を供給しており、熊本市内でのシェアは大きい。

特徴としては、住宅に使う木材は、県内もしくは国内の乾燥材を使っており、乾燥方法も人工乾燥ではなく、1年以上時間がかかる天然乾燥を行っている。また、一般的な工務店は、材木屋や製材所で木材の製材品を購入するが、工務店Sは原木を直接林業家から購入している。

住宅設計は、国産材 100%の（県産材は主に杉）大壁方式の木造軸組み工法である。

■事例名

天然乾燥材による住宅供給を行う工務店S

■主たる業務

注文住宅建築・増加改築・木材加工

■規模

従業員数（グループ全体）：174名（平成21年11月現在）年間住宅建設数（グループ全体）：205棟（前期新築完成工事棟数、建売含む）



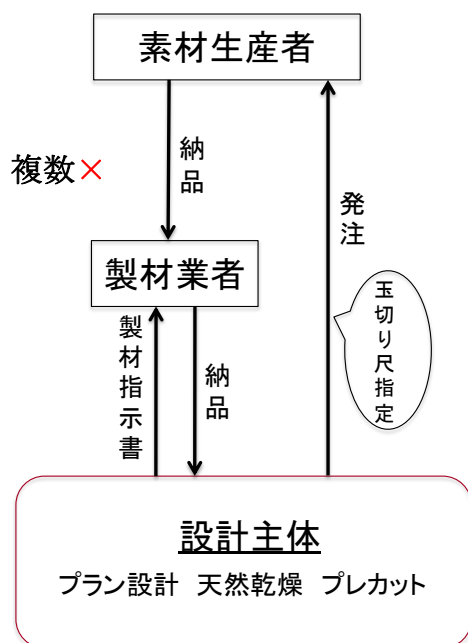
写真：事例Sの住宅

■事業エリア

主に熊本県内、一部福岡市内



事例Sと川上側との関係



事例Sは、天然乾燥材の在庫管理やプレカットまで自社で行っていて、原木は、原木市場、指定の林業家から購入している。製材は、玉切り尺の長さごとに4m材と3m材をそれぞれ異なる製材所に委託している。

原木を購入する際は、伐採時の玉切り尺を、3m、4m、6mの市場寸法以外に、3、3m、5、5m、8.5mの自社指定を行っている。これは、施工の際、市場寸法だと無駄が出やすかったため、必要な分だけを指定するようにしていた。

【設計について】

工法：一般的な木造軸組工法・大壁工法

地域材使用量 (m³/年)：95%地域材・5%国産材

一軒あたりの木材量：38m³/棟

材の選定方法：規格化された材の中から、構造計画者が設計に合わせて材を選定している。材の選定後、設計者にデザインに問題はないかを確認している。

材の寸法の決定理由：天然乾燥材を使用する事例Sは、一年以上材をストックしておかないといけないため、ストック体制を整備するため、なるべく材種は少なくし、規格化していた。

住宅の設計：プランに関しては、1割は固定プラン、9割は自由設計としている。新工法開発などは行っていなかった。

標準寸法表

構造材の断面寸法の種類を、見込み生産と在庫管理をしやすいするために減らしていた。構造材のみで9種で羽柄材は12種であった。

図 3.1.3 : 標準寸法表

標準寸法表
(主要材のみ)

構造材				製材寸法			仕上寸法			歩留り
No.	名称	材種	等級	長(m)	厚(mm)	幅(mm)	長(m)	厚(mm)	幅(mm)	
1	土台	桧	特1	4	130	130	4	120	120	85.2%
2	大引き・火打ち	杉	特1	4	108	108	4	103	103	91.0%
3	管柱	杉	特1	3	130	130	3	120	120	85.2%
4	柱	杉	特1	4	130	130	4	120	120	85.2%
5	母屋	杉	特1	4	121	121	4	115	115	90.3%
6	通し柱	杉	特1	6	130	130	6	120	120	85.2%
7	通し柱	杉	特1	6	160	160	6	150	150	87.9%
8	大黒柱	杉	特1	3.3	250	250	3.3	240	240	92.2%
9	大黒柱	杉	特1	6	250	250	6	240	240	92.2%
10	梁・桁	杉	特1	4	128	370	4	120	360	91.2%
11	梁・桁	杉	特1	4	128	310	4	120	300	90.7%
12	梁・桁	杉	特1	4	128	250	4	120	240	90.0%
13	梁・桁	杉	特1	4	128	160	4	120	150	87.9%
14	梁・桁	杉	特1	3	128	370	3	120	360	91.2%
15	梁・桁	杉	特1	3	128	310	3	120	300	90.7%
16	梁・桁	杉	特1	3	128	250	3	120	240	90.0%
17	梁・桁	杉	特1	3	128	160	3	120	150	87.9%
羽柄材				仕上寸法			仕上寸法			歩留り
No.	名称	材種	等級	長(m)	厚(mm)	幅(mm)	長(m)	厚(mm)	幅(mm)	
1	間柱	杉	特1	4	63	130	4	60	120	87.9%
2	間柱	杉	特1	4	33	130	4	30	120	83.9%
3	間柱	杉	特1	3	63	130	3	60	120	87.9%
4	間柱	杉	特1	3	33	130	3	30	120	83.9%
5	筋違	杉	特1	4	48	110	4	45	105	89.5%
6	筋違	杉	特1	3	48	110	3	45	105	89.5%
7	垂木	杉	特1	4	45	75	4	45	75	100.0%
8	垂木	杉	特1	3	45	75	3	45	75	100.0%
9	根太	杉	特1	4	48	63	4	45	60	89.3%
10	野縁	杉	特1	4	45	45	4	43	43	91.3%
11	受け材	杉	特1	3	45	45	3	43	43	91.3%
12	足場板	杉	特1	4	36	200	4	32	188	83.6%
13	足場板	杉	特1	3	36	200	3	32	188	83.6%
14	瓦棧	杉	特1	4	27	36	4	27	36	100.0%
15	雲筋違	杉	特1	4	15	105	4	15	105	100.0%
16	野地板	杉	特1	4	15	105	4	15	105	100.0%
17	野地板	杉	特1	2	15	105	2	15	105	100.0%
18	胴縁	杉	特1	3	18	90	3	15	90	83.3%
19	胴縁	杉	特1	3	18	45	3	15	45	83.3%
20	胴縁	杉	特1	3	12	45	3	9	45	75.0%

※No.18, 19の胴縁については厚を 18mmに変更予定

一川上干渉少量型「事例U」一

設計事務所による、天然乾燥材使用した住宅

概要

事例 U は、栃木県にある工房を持つ設計事務所で、県産材の杉を使用した木造住宅生産を行っている。特徴は、山から直接購入し天然乾燥を行っていることと、住宅生産の仕組みである。住宅生産の仕組みの特徴は、木造軸組み工法をベースに、自社で接合が容易で意匠的に目立たない接合金物の開発を行い、部材の寸法統一と材の種類の少量化、壁を自社の工房でパネル化するなど小規模ではあるが、住宅生産全体でシステムを作り、効率的な住宅生産を提案している。

■ 事例名

事例U

■所在地

栃木県足利市

■ 主たる業務

建築設計・部材製造

■ 規模

年間建設棟数：3～4軒

従業員数：5人（うち設計者1人、大工3人）

■ 事業エリア

栃木県内

■設計コンセプト

事例 U の住宅のコンセプトは、合理的で良質な家である。



写真：事例Uの住宅



事例Uと川上側の関係

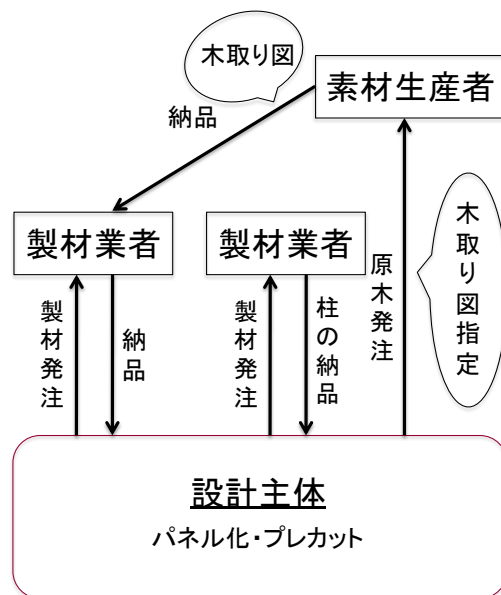


図 3.1.4：事例Uと川上側の関係

【会社について】

方針

一般的な工務店とは異なり、日雇大工ではなく、大工職人を社員として雇用している。そのため、受注がない際も仕事をするのが可能なように、在庫を前もって製造しておけるような住宅設計になっている。しかし、受注生産なので実際の経営として難しいこともある。会社を安定させる方法として、量産することもできる生産方法だが、すべてを機械に任せるということは、会社の方針にそぐわないということで行っていない。事例Uは、必要最小限の労力で良質なものをどのように作るかに徹している。

経緯

25年前の設計事務所立ち上げ当時は大工が木造住宅を作る時代であり、自分が作りたいものと大工の技能をどのように組み合わせて住宅設計を行っていくか考えたことが、現在の住宅生産の始まりである。そこで、大工の仕事はどこに手間がかかるのか、デザインはどうしたら整合性が取れるのかを考え、大工が効率的に仕事を行えることとコストの削減をできることを検討してきた結果、葉がらし乾燥材や今の設計方法に行きついている。

業務の進め方

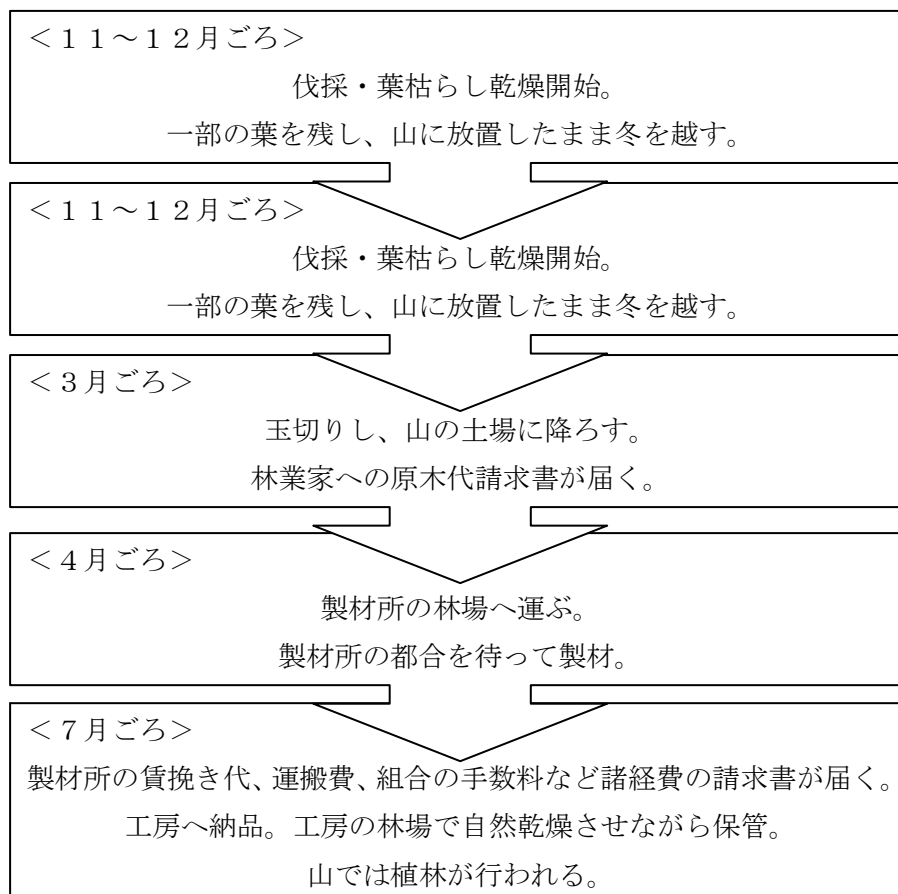


図 3.1.5 : 業務の進め方

事例Uは、森林組合と2つの製材工場と住宅生産を行っている。取引先は、葉がらし天然乾燥材を使用し始めてから、変わっていないということだった。

生産方式

寸法を統一し、機械化することで未熟練者でもすぐに技術が習得できる生産方法をとっている。これは、木を弊害なく使用することと他工務店での普及を意図した工夫である。

天然乾燥材・葉がらし乾燥材に至った経緯

最初は、事例 U も製材所から製材品を購入していたのだが、当時はグリーン材が多かったことなどから、材料が反ってしまうなどの問題が発生した。そこで、木の性能を生かす自然乾燥を行うようになった。

葉がらし乾燥材へ行きついたのは、加工がしやすく使いやすい材料であることと大工の負担にならない軽い材料であるという理由があげられるが、住宅生産を始めた当時は、杉の構造材で乾燥材は珍しく入手が難しかったことから、近くの森林組合からの直接購入に至っている。現在でも、葉がらし乾燥材を使用し始めた時と同じ森林組合から葉がらし乾燥材を調達している。

天然乾燥材を選択した理由は、家づくりの合理化によるところが大きい。

また、葉がらし乾燥材は、この地域では特別に注文しなければ手に入れることはできない。なぜならば、今は人工乾燥材が主流なので、山で立木を伐採後すぐに山から原木を運び出すという工程が基本形態だからである。葉がらし乾燥する場合、伐採後、そのまま3ヵ月から4ヵ月置いた後に再び山に入って運び出す必要があり、山側にとっては手間になってしまうのである。

コストについては、葉がらし乾燥材を山から直接購入した場合も人工乾燥された製材品を購入した場合も最終的には同じ値段になっている。

人工乾燥材を使用しない理由としては、化石燃料を使っていることなど環境負荷があることがあげられる。

地域材を使用した動機

事例 U は、地域の山の豊富な杉を住宅に使用している。杉を使うのは、距離的利便性と量的な安定性が図れるからである。

真壁工法





施工時は順を追って作業をしなければならない大壁工法ではなく、分業できる真壁工法にこだわっている。これは、施工時の効率化への考慮の一つである。

大壁は順序ができていないので部品化できないが、真壁だと別々に作っておけるので、部品化しやすい。以前は外壁か大壁か真壁か施主が選択できたが、今は真壁に統一している。

寸法統一・寸法種類少量化・部品化について

見込み生産性のしやすさと、在庫を消費し易くするため、部材の寸法を統一し、かつその種類も減らした。下表はその一覧である。断面寸法の種類は、4種類である。

部材一覧表 真壁の家は転用可能な共通寸法の部材で構成される。

厚さ (mm)	定尺・樹種 (m)	部材寸法 (mm)
T120	3.00 - 杉・檜 3.64 - 杉 4.00 - 杉 4.55 - 杉 5.46 - 杉 6.00 - 杉・檜	 柱・脚柱、梁・軒角、管柱・透柱・束・梁・橋木、差透柱(サッシ内障子)、差透柱(中仕切)、差透柱(建具巻)、立山(サッシ内障子)、差透柱(51戸)、杉障子丸土(溝敷柱)、下屋筋木束
T40	3.64 - 杉	 サワラ脚、51戸付脚柱、手組・巻目・応小横・浴室ドア枠A、差透柱頭戸板、野地板、野地板(白木瓦葺き用)、梁板(鉄筋埋設専用)、浴室ドア枠B
T30	3.64 - 杉 サワラ	 足床・出窓材、パネル板・パネル扉裏面・格子・格子裏・出窓材・サッシ内側障子・サッシ内側障子、紙巻紙・巻紙・格子出窓裏板、床板・野地板、付柱、軒梁戸板、瓦板・床板材料袋・地下地、サッシ内側障子、印本・巻受材・巻受・出窓材
T15	3.64 - 杉 サワラ	 巻紙、黒野地板

壁パネル一覧表 真壁の家の壁は杉板と合板、プasterボードの組み合わせによる標準化されたパネルで造られる。

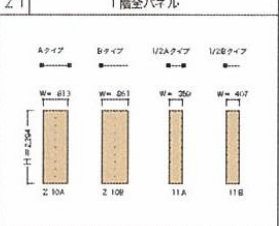
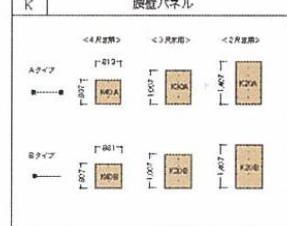
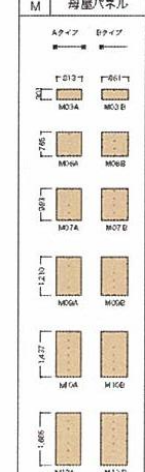
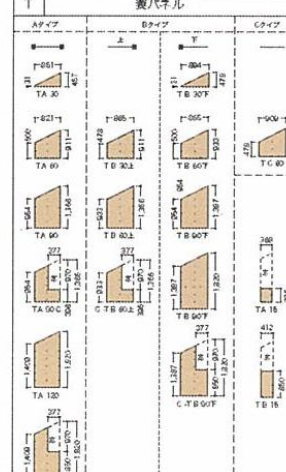
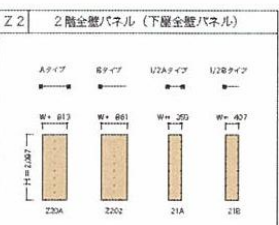
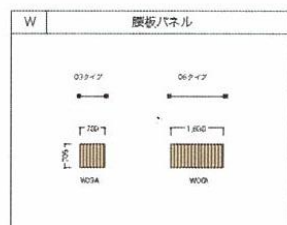
Z1	1階全パネル	K	腰壁パネル	M	母屋パネル	T	裏パネル
							
							

図 3.1.6 : 1棟に使用する寸法の一覧¹¹

¹¹ 住宅建築 2004. 03 より引用

加工材				
用途		たて	よこ	長さ
土台	米ヒバ	120	120	4000
大引	杉	120	120	3650
梁	杉	120	240	910
梁	杉	120	240	1820
梁	杉	120	240	2730
梁	杉	120	240	3650
梁	杉	120	240	4550
梁	杉	120	240	5460
梁	杉	120	180	910
梁	杉	120	180	1820
梁	杉	120	180	2730
梁	杉	120	180	3650
梁	杉	120	180	4550
梁	杉	120	180	5460
梁	杉	120	120	910
梁	杉	120	120	1820
梁	杉	120	120	1050
梁	杉	120	120	3000
手摺支柱	杉	120	120	910
手摺	杉	120	120	1820
手摺	杉	120	120	3000
手摺	杉	120	120	3650
手摺	杉	120	120	4550
手摺	杉	120	120	5460
差し鴨居	杉桁	120	120	2730
差し鴨居	杉桁	120	120	1820
差し鴨居	杉桁	120	120	1360
差し鴨居	杉桁	120	120	910
母屋	杉	120	180	3650
母屋	杉	120	180	4550
母屋	杉	120	180	5460
垂木	杉	120	120	4000
垂木	杉	120	120	3000
垂木掛	杉	60	150	3000
通柱	桧	120	120	6000
通柱	桧	120	120	4000
管柱	杉上小節	120	120	3000
管柱	杉	120	120	3000
半柱	杉	120	80	3000
丸太柱	杉	150φ		3000
小屋束	杉	120	120	910
小屋束	杉	120	120	1350
板材				
用途		たて	よこ	長さ
屋根・野地板	杉	36	150	3650
床・床板	杉	36	150	3650

図 3.1.7 : 事例Uの部材寸法

寸法統一の経緯

寸法統一・寸法種類少量化・部品化に至った理由としては、下記の4項目がある。それらをふまえた結果、最も合理的だった生産方法を選択した。

- (1) 山側への考慮
- (2) 製材所への考慮
- (3) 施工者への考慮
- (4) 会社経営（働き方）への考慮

(1) 山側への考慮

材の寸法は山が行いやすい共通寸法となるよう考慮されており、それを使用時に転用するほうが、山の作業が効率的になる。

(2) 製材所への考慮

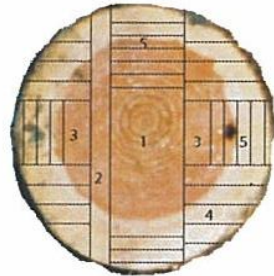
製材所は、原木から製材の歩留りがよいほうがよく、自分たちも原木を直接買っているので、すべて使えたほうがよい。そこで、歩留まりが向上し、かつその材で可能な設計方法として、寸法を統一した部品化した設計になっている。

原木から製材の歩留まりを上げる方法として、2丁取りなどがあるが、反りやすく品質に問題が生じるので、芯有り材を使うことにしている。下図のように、歩留まりの高い木取り図まで自ら考案している（歩留りはおよそ80%）。まず6寸または8寸の梁を芯あり材で取り、残りは在庫状況で建具材用の板材と正材の量を調節して木取りを行えるようになっている。原木から木取りするのは平角材が主で、柱と1寸、1寸3分の板材は製材品を購入している。

一般的に、平角材は見込み生産がしづらい傾向にあるが、事例Uでは見込み生産が可能な住宅生産になっている。柱が見える作り方にしたいくて→部品化した。（要確認）

部品化は、山側と施工側と自分たちの仕事が安定する（つくっておける）という3つのことが大きな理由となっていた。

歩留まりのよい木取り



- 1 梁 125×245 125×185
- 2 カウンター材 35×最大巾
- 3 内法材 45×125
- 4 柱材 35×最大巾
- 5 貫材 15×125

木取り

真壁の家は5種類の製材寸法からなる。
 柱材は中に鉄釘に使用。

図 3.1.8：事例Uによる木取り図

(3) 施工者への考慮

断熱や加工手間などから種類を統一している。

(4) 会社経営への考慮

今の会社経営では、工期が長くなれば、間接経費がかかるので、工期は短縮することが望ましい。そういう社会状況の中で、安定的に設計事務所を経営するには、仕事がないときも仕事がある状態にする必要があり、見込み生産と受注生産に整合性を持たせるために、事例Uは部品化した住宅生産を行っている。部品化することで少数の職人で住宅を建てるのが可能になり、仮に受注がない時でも会社を経営していけるよう想定されている。

また、住宅に使用するすべての部材の寸法が数種類に統一されていることにより、同じ材でも異なる場所に使用することが可能になった（野地板と床板は寸法が同じ）。そのため在庫が常にはけやすく、在庫になることが負担にならない。

いらないからといって、薄くしたりするわけではない。



事例Uの工房



壁に使われるパネル

留意点

- ・ 住宅設計は、共通寸法を多用することに重点を置いている。
- ・ 使用時は、赤身などの美醜を考慮し、どの部材に使用するか適材適所で決めている。
- ・ 水周りの配管は壁に入れずに全部みせるようにしている。そうすることでメンテナンスがしやすくなる。

材の選定基準

原木については、事例 U は 8 寸と 6 寸に統一しているので、その寸法に対応できる原木のみ葉がらし乾燥を行ってもらっている。柱は葉がらし材を買うと単価が合わないので、ヒノキの製材品を購入している。

乾燥材を使用するにあたり、重要なのは含水率だが（JAS規格で%がある）、事例 U は含水率の測定は特に行っていない。その背景には、含水率のような数字で木材を選別すると山の木が差別化されてしまい、山の格差が起こるのではないかという配慮がある。

設計詳細

制限事項、定尺はきまっている。

事例 U での設計は、プランを練ると同時に梁と柱の掛け方など、構造的なことを考えながら進められている。一般的なのはプランが決定した後に構造を決める方法で、その場合、無理のある構造計画になってしまうことが多い。その点、事例 U は梁伏図とプランに整合性がある。

寸法決定基準

山側への介入度合。

梁は 8 寸と 6 寸に統一されているが、この寸法にしたのは、山の原木から最も多くとることができる寸法だからである。以前は 5 寸材であったが、8 年程前に 6 寸材に移行した。その理由は、山にある木が成長したことと、山にある木が適正循環しておらず、太い材が増えてきたためである。

玉切り尺は、原木を直接購入しているので、木を無駄なく使用するため、12 尺（市場品）、15 尺、18 尺以外は、長めの寸法を指定している。これは、山側ではなく住宅設計側に配慮した尺であり、18 尺だと「間取りが 1 本で通る」「継ぐ必要がない」など、川下側の利点が多い。事例 U では、玉切り尺を自分たちの指定でおこなってもらかわりに、節や見た目の良し悪しについての指定はしていない。

木に応じて寸法を決めると、その都度かわってしまうので、山の寸法とまちの寸法をう

まく調節し、定番の木取りができないか検討した。この寸法は山とまちの両方に優しいというメリットがある。

見積もり方法

事例 U の住宅の見積もりは、住宅が部品化されているため、部品 1 つあたりの価格で求めることができ、各部品の使用個数と加工費で見積もりが完了する仕組みになっている。この見積もり方法は、施主にはコストが明解であるため、施主も住宅設計に参加しやすいと思われる。これは、莫大な広告費や人件費がかかるハウスメーカーには難しい見積もり方法となっている。

制限事項

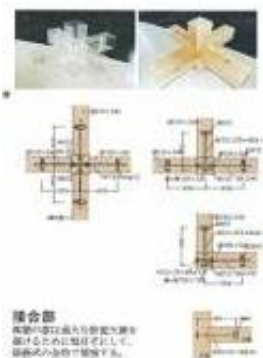
本事例の場合、定尺が初めからきまっているという制限事項があるが、事例 U の設計では、プランを練ると同時に梁や柱などの掛け方も決められていくので、制限は感じづらくなっている。

その他

量産は一つの解決方法だが、その場合、設計者が経営者になる必要がある。事例 U としては、それは望んでいないかたちであり、量産の方向に行かなくてよかったというコメントがあった。どちらがいいと言うことはできないが、今は、隣家の人やまちのことを自然と考えることができているとのことだった。

また、家は特殊建築物ではないので、設計者は、建て主が自分の好みの家に住むためのベースを作ることが仕事なのではないかと考えている。

今の寸法は 10 年前から固定されている。職人に頼めば、土壁等にもすることもできるが、職人の事情や山の事情で生産方法を決めているので、施主が言っても変えることができない。意匠性重視ではない。丸太等を使ってもいいが、加工しづらいという欠点がある。寸法が決められていれば機械に乗せやすいうえ、全て機械化しないとしても、ある程度規格化することで未熟練者でも取り扱うことができる。





工房内の在庫

独自の接合金物

—川上マネジメント型「事例SR」—
木造住宅を専門とするハウスメーカー

概要

国産材の集成材を使用した木造住宅を全国的に供給している住宅メーカーである。山林管理も行っており、山のマネジメントも行っている。

■主たる業務

山林の経営／原木、製材品、チップ、普通合板、二次加工合板、繊維板、住宅機器、窯業建材等の売買／注文住宅の建築、建売住宅および宅地の売買、インテリア商品の売買／集合住宅・ビル等の売買、賃貸借



写真：事例SRの住宅

■事例SRと川上の関係

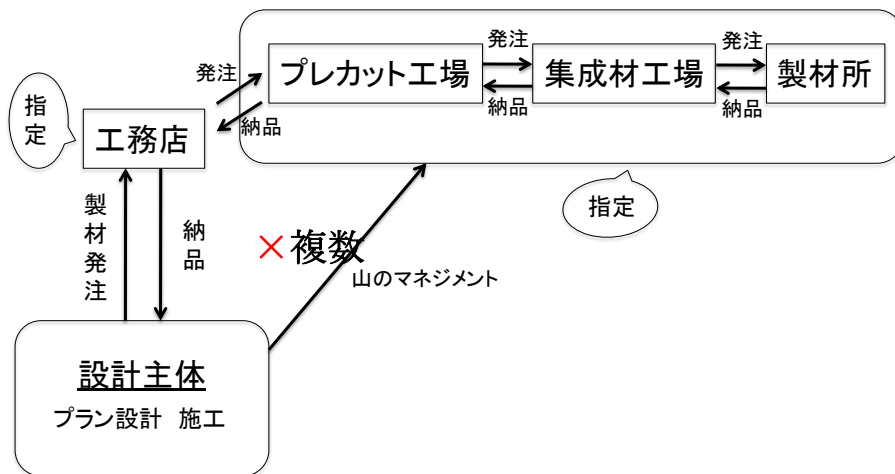


図 3.1.9：事例SRと川上との関係

■設計概要

事例SRの住宅は、住宅部材に国産材を積極的に採用し、できる限り冷暖房機器を必要としない設計が基本となっている。主に国産材ヒノキの集成材を使用し、間柱などの羽柄材にも国産材の集成材を用いており、一棟あたりの国産材率の高い住宅を供給している。また、住宅メーカーの技術力を活かし、耐震性に優れたオリジナルの工法で住宅生産を行っている。



写真：事例SRの工

■環境的取り組み

「国産材の積極活用」

事例SRでは、環境への配慮とニーズなどの理由から、国産材を住宅に使用するため、質にバラつき多い国産材を集成材にすることで、安定供給を可能にしていた。乾燥方法も、含水率をモニタリングしながら乾燥していく自社独自の乾燥方法を開発し、使用樹種の幅を広げており、住宅メーカーの技術力を活かした国産材の積極活用を行っている。

「山のB級品の有効利用」

・集成材

事例SRは、建材には、主に集成材を使用している。比較的小さな材を重ねて製造される集成材を使用することで、山の曲がり材や、製材時の遍材なども製材品として使用可能になり、山の未利用材として問題となっているB級品の有効利用を図っていた。

この取り組みの山側へ影響は、集成材を生産し使用することで、B級品の価格の向上と安定価格につながり、曲がり材の下支えになっているということであった。

・端材から開発された住宅部材

事例SRの下地パネルは、約55mm×9mmの小さな断面のチップくらいのもので約1.4mの長さのものを接着剤で斜めの格子状に接着した面状の製品である。通常住宅に使用される構造用合板の役割を担い、壁の下地材および、耐力壁となり、壁倍率は2.5倍となっている。また、格子状になっているため、通気も取れる。これは、丸太の周りの端材を有効利用した部材開発である。会社全体で原木を購入しているので、材の有効利用という考えから、このような商品が生まれていた。



写真：下地パネルの製造過程

—川上受入選択型「事例D」—

設計者と工務店の協力により提案された、ローコスト、ハイクオリティの住宅

概要

設計者と工務店が共同で提案した木造のスケルトンインフィル住宅である。



■ 事例名

事例D

■ 設計者

設計事務所

■ 規模

年間建設棟数：3～4軒

従業員数：5人（うち設計者1人、大工3人）



写真：事例Dの住宅

事例Sと川上との関係

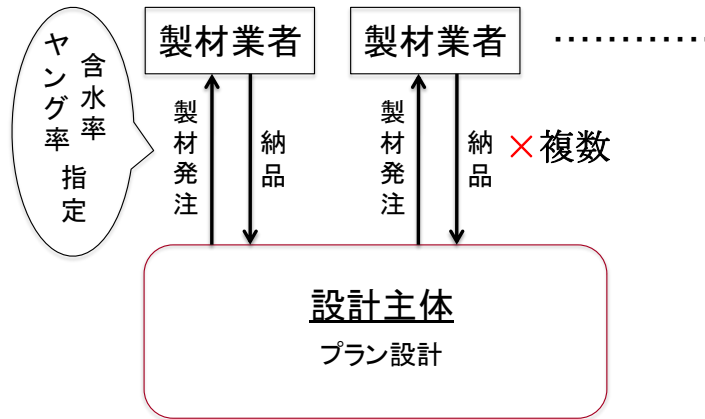


図 3.1.10 : 事例Dと川上との関係

これまでの住宅棟数

- ・ 約100棟弱
東京都の東村山市のモデル住宅プロジェクトで25棟建設し、その後、約30社ほどの工務店により建設されているので、これまでに約100棟弱建設していると考えられる。
- ・ 住宅生産のフロー（モデルハウスを例にしたもの）
多摩森林組合に、構造計算に基づいた含水率とヤング係数を指定した製材品を注文し、モデルそって設計。

【設計について】

コンセプト

東京とのモデル住宅のコンペで、東京との木を使用した（または地域材）安くて質のよい、3世代続く住宅（約100年）をコンセプトに提案された住宅。

特徴

木造のスケルトンインフィル住宅の提案である。住宅の更新がしやすいように、構造と機能が分離されていて、構造は、床剛性を効かせ、住宅の外周でもたせているので、内部に柱が1本または2本程度しか現れず、間仕切りや水回りを自由に更新しやすくなっている。

また、意匠性を重視した設計ではなく、特殊な材や技術を用いない、普通の大工でも可能な住宅生産方法となっている。

住宅の面積は、4間×4間を基本に1間単位で拡大できる。

表1 事例Dの材の断面寸法

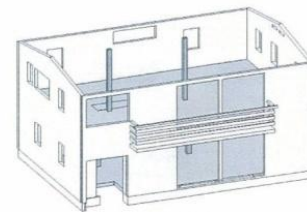
構造材				
用途		たて	よこ	長さ
土台	米ヒバ	120	120	4000
土台	米ヒバ	105	105	4000
土台	米ヒバ	90	90	4000
土台	米ヒバ	90	90	3000
梁	杉	120	120	4000
梁	杉	105	105	4000
梁	杉	90	90	4000
梁	杉	90	90	3000
梁	杉	120	150	3000
梁	杉	120	210	3000
梁	杉	120	210	4000
梁	杉	120	360	4000
梁	杉	120	210	5000
梁	杉	120	120	4000
柱	杉	120	120	3000
柱	杉	180	180	3000
羽柄材				
用途		たて	よこ	長さ
根軒先垂	梅	45	105	4000
根軒先垂	梅	45	105	3000
根軒先垂	杉	45	105	3000
間柱	杉	30	120	3000
根太	杉	45	105	3650

徹底したコストダウン

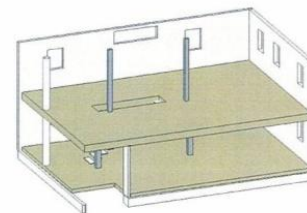
- ・すでに流通している材と技術を効率よく使用したこと。
- ・設計やスケジュール管理で工期を一般的な工期の半分に短縮できたこと。

事例Dは、東京都の市価の3割安で建設することが、条件になっていた。その上、事例Dは、質を維持するために、未熟練大工や外国人労働者ではなく、熟練大工が作っても低価格で納まる住宅にすることを念頭においていた。

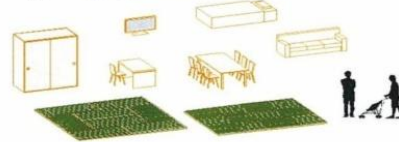
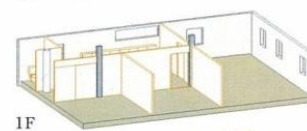
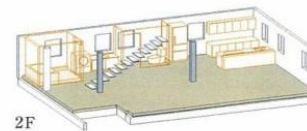
それが実現できた要素としては、すでに流通している材と技術を効率よく使用したことと、設計やスケジュール管理において、施工時の各職人の作業を効率的にすることに徹底したため、工期が短縮されたことである。設計やスケジュール管理の工夫が成功したのは、工務店や職人と、住宅建設は実際何にどれくらいの費用がかかっているのか、どうしたら作業手間にしないかを、



構造と外皮
中がらんど、構造壁はありません。
設備の配管配線スペースが確保されています。



基本スペース
外壁で構造の安全性と断熱性能の確保をします。



基本スペースに家族に合わせて仕切りと設備を追加します。

写真：事例Dの設計システム

現場でのフィードバックを常に行いながら綿密な打ち合わせをしたことである。

その結果、部材の少量化、床はすべて同じ材に統一することで、施工の手間が減り、熟練大工が効率よく仕事ができるので、工期短縮による経費節減を行いながら質のよい住宅生産が可能となった。

通常、設計業態が施主に見せる見積もり書には、実際に掛かった費用とその他経費が上乘せされているため、実情が把握できないものである。事例Dの場合は、その実情を設計者が理解することで、設計にフィードバックされ、質のよい低価格住宅が実現できたと言える。

川上側に配慮した住宅設計に到った動機

- ・ 海外の森林破壊や日本の森への環境問題への意識が大きい。
- ・ 地域材利用に到った動機
- ・ コンペの条件であった。
- ・ 設計方法を決定する際、素材選定段階、部材選定段階、施工段階、使用段階での
 - ① 川上側への配慮項目
 - ・ 部材寸法統一。
 - 部材寸法を統一することで、製材所の負担が減る。
 - ② 川下側への配慮項目
 - ・ 施工時の負荷を減らすための設計方法
 - 階段の組み立てかたや壁の素材、配線の方法など細かなところまで、施工の効率化に徹底していた。このように細かなところまで効率化が可能であった1条件として、モデル住宅として25棟を継続的に建設できたことがあげられる。継続的に同じ住宅を建設するので、その都度改善している。
 - ③ 木材の選定基準
 - ・ 含水率・ヤング係数
 - 含水率とヤング係が構造計算上設定している材を使用しないと強度が保てない設計になっている。

【事例Dの変遷・導入・影響について】

初期の設計と現在の設計との相違点・改善点

- ・ 真壁方式から大壁方式に変更している。
- その理由としては、東京の木は、土地柄からあまり手入れされておらず、節が多く、含水レベルも低いので、あまり仕上げ材には向かなかったためである。
- ・ 間仕切りがMDFから従来型の軽量鉄骨（LGS）のスタッドにPB張りに変更。
- 間仕切りは、置くだけで仕上がるMDFを施工が簡単であることを想定して使用したが、実際MDFが反って留めにくい、汚れやすい、日焼けをするなどの問題があったため、軽量鉄骨のPB張りに変更された。
- ・ トイレなどの間仕切りが必ず必要な場所の天井は、構造表し仕上げではなく、構造を見せない仕上げにしている。
- 構造表しにすると、屋根の形状にあわせて間仕切りを切断しなくてはならず、施工の間がかかってしまうためである。
- ・ これまでの取り組みにおいて直面した課題（解決方法、解決できなかった課題）

課題

- ・ コストの削減

解決できなかった課題

- ・ 事例Dは、構造計画上床剛性を効かせることが重要であるため、2階の柱の下の天井は、水平面が必要で、コスト維持をすると吹き抜けを設けるのが難しい。構造計算をし直せば、可能だがそれではコストが合わなくなってしまう。
- ・ 壁に配線をせず、鴨居や副木に配線をまとめるシステムでコスト削減を狙って設計していたが、実際は、きれいに配線することが手間である。この点は、まだ解決されておらず、解決の余地がる。

【導入にあたって】

事例Dの仕様による設計上の利点や制限事項などの問題点

- ・ 施工の効率化に伴い、部材の種類を少量化や統一をしているため、施主側からすれば、あらかじめ材の選択の余地がないこと。

事例Dの仕様における施工時の利点や課題

- ・ 施工時にメリットがある設計に徹底しているため、現段階ではデメリットはないと云ってよい。

設計意図と反した結果になってしまったこと

- ・ 間仕切りは、置くだけで仕上がるMDFを施工が簡単であることを想定して使用したが、実際MDFが反って留めにくい、汚れやすい、日焼けをするなどの問題があったこと。
- ・ 壁に配線をせず、鴨居や副木に配線をまとめるシステムでコスト削減を狙って設計していたが、実際は、きれいに配線することが手間であったこと。

【影響・普及の可能性について】

事例Dの提案による山側への効果（地域材利用への貢献や、木材の安定供給が可能になる等）

- ・ まだまだであり、何百単位で建設しないと効果なし。
 - ・ 他工務店等への普及の可能性と問題点・改善可能な点
 - ・ 施主にとっては、少し設計に制限が出てきてしまうことが問題点ではあるが、30年たっても壊れず質が保てる家である価値観を施主側が理解すること。
 - ・ 戸建の中古市場が成立するような社会のしくみをつくること。
-

事例Dの提案を通しての発見と今後の展望について

事例Dへの取り組みによる設計側が知るべき発見

- ・ 同じものを作り続けることが、改善へつながりやすい。メーカーなどはその点有利だが、他社との差別化を図らなくてはならないので、オープンシステムにはならない。

一川上受入選択型「事例MS」

概要

全国の林産地から木材を調達しながら木造住宅生産を行っている設計事務所により設計された住宅。

この設計者は、山の未利用材を使った部材開発や使用を行っている。

■ 事例名

事例MS

■ 業態

設計事務所

■ 所在地

大阪府吹田市

■ 創業

25年

■ 主たる業務

木造住宅設計・建材研究・建材開発

■ 規模

年間建設棟数：15棟/年

従業員数は15人。



■ 事業エリア

基本的に全国対応。鹿児島¹の屋久島や新潟²まで³網羅している

写真：事例MSの住宅

事例MSと川上側の関係

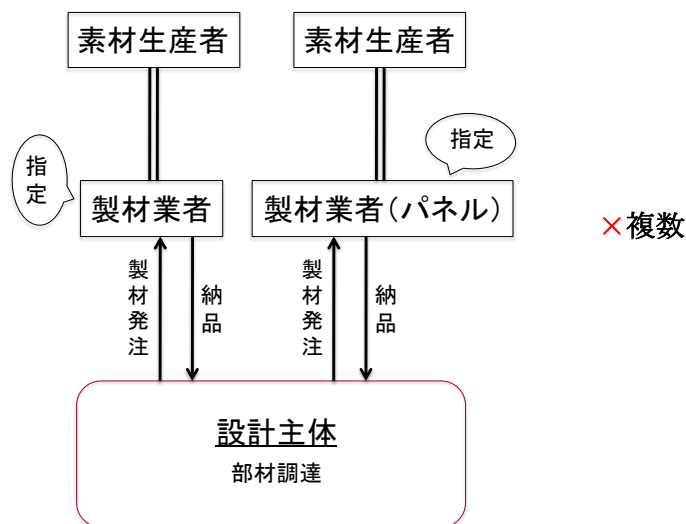


図 3. 1. 11：事例MSと川上側の関係

【設計について】

コンセプト

- ・ 頑丈で長持ちする木の住まい。

設計概要

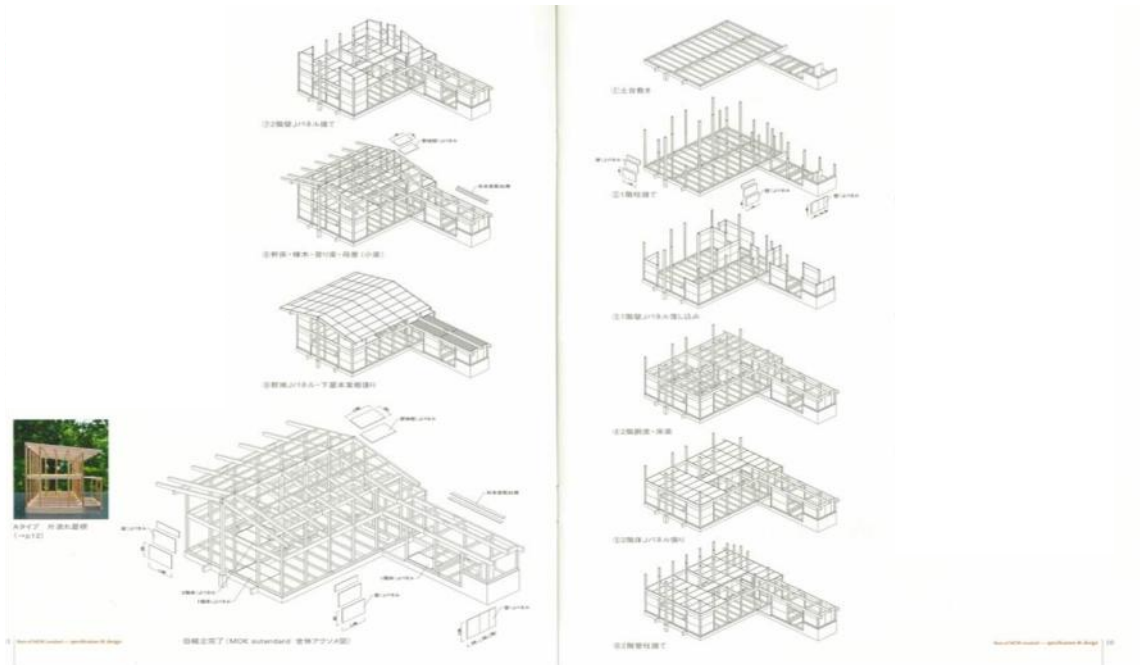
- ・ 事例MS Sでは、標準仕様を設定している。部材の寸法は規格化され、1ピッチ構法という1820mmまたは、1920mmのグリットに入る柱と、耐震壁兼、壁仕上げになるパネルで構造を持たせた設計である。
- ・ 間取りは、家具で変えるようにしている。
- ・ 修理は壁を抜かないとできない。

発注

25年間かけて選んだトップランナーの林業家から、木を調達し、住宅を生産する。使用する木材は、品質がよく洗練されたものを使用している。トップランナーの基準は、切り旬守って、葉がらし乾燥し、守っていることとしている。

玉切り尺の指定は、特殊なものだけ行い、基本的に標準仕様は、常に入手できるもののできるようになっている。(約80%が流通品)

製材所に材を注文する際は、「杉の○寸角の□mを△本、・・・」と注文し、木取りは製材所の裁量に任せている。



これまで提案されてきた部材開発や工法開発

- ・ 接合金物・杉三層パネル・杉一層パネル（写真下）

限りなく無垢に近い強い材に生まれ変わる部材開発を心がけている。大臣認定や大学との共同研究などの公的な評定を得ることに努めている。

このような部材開発には、無垢の木はきれいではあるが、曲がることや、伝統工法だけでは耐震性に欠けるなど、無垢の木でつくる住宅の性能に問題から行きついている。



【川上側へ配慮した住宅生産について】

川上側に配慮した住宅生産を開始した動機

- ・ 工務店が調達する部材の不安定性
24年前に木造住宅を設計した際、部材は工務店に任せていた（その設計では、アンカーボルト以外の金物は使用せず、なるべく金物を使用しない木造住宅を設計していた）。その結果、含水率の悪い材料や産地名ばかりで実際の産地が不明な部材が調達されてしまった。そういった工務店の問題から、自分たちで良識的な林業家を探し、直接林業家と交渉して、山のスケジュールに合わせて注文する住宅生産を行うようになった。

国産材を使用した住宅生産を行うにあたっての必須事項や留意点

- ・ 強い金物、強い部材の開発が必須
一定量の質の安定した材の調達が難しい国産材を利用するには、規格化や部品化、部品を統一した製品を開発しないと材料が均一にならないため、強い金物と強い部材開発を行っている。
- ・ パネルの寸法である1820mmの寸法をうまく使い切る。
モジュールに特化したことを考え、生産性と合理性を保ちつつ、質のいいものを提案することに留意している。

川上側への配慮

山側への情報発信

川上側への配慮は、山のスケジュール組みやすいように、常に川上側とコンタクトを取ることで、近々に必要な木材情報を山へ発信し、設計者側も山の情報を得るように努めている。

- ・ 部材の規格化、寸法の少量化
設計では、出来る限りいつも使う部材が山側で把握できるように、部材を限定させ、木材の断面はあまり種類を使わないようにしている。そのほうが、設計にもメリハリができる。
- ・ 見込み生産への配慮
良く使用する材は、見込み生産できるように規格に基づいて、製材所で大きめ引いておいてもらっている。

木材の選定基準

- ・ 樹齢70年以上
-

- ・ 芯持ち構造材で赤身材
- ・ 年輪が綿密
- ・ 乾燥材、できれば天然乾燥材
- ・ 含水率

山側に利益が生まれる原木・製材価格と現状の価格

現状100000円/㎡の価格設定にしている、この価格は一般的な価格と比較すると品質が高いため少し高めであるが、山側への利益を考えると適正価格であるとして、設定している。

葉がらし乾燥材は、林産業者にとったら手間だが、良識のある生産者は、供給する住まい手のことを考えているので、付加価値としてははない。

【部材開発や工法開発】

＜杉三層パネル概要＞（写真下）

杉三層パネルは、使用されづらい小径木利用のため、強度の弱い杉を三層にパネル化して床材や壁材、家具に使用できるパネル製品として開発された。この製品は、山、工場、現場の事情がうまくかみ合いの写真は、杉三層パネルの施工寸法はJパネルの初期は現在mm×1820mm、1m×2杉・唐松・ヒノキの3種類。唐で重い。

製品化に至った。下の様子である。も変わらず、900mの2種類。樹種は、松、ヒノキ、杉の順

今では、山で間伐が適正に行の使用に迫られているため、大



・粘り強いが落し込むだけでは変形が大きいので補強がいる



・釘に頼っているのが釘の引き抜かれに注意！



・落し込み、さらに釘打ちすることで釘の引き抜かれも少ない

込みの手順



写真：杉三層パネルの施工過程

【設計について】

初期の部材と現在の部材との相違点・改善点

強度や、防火性能は上がっていて、壁倍率は、2.5倍から3.6倍になっている。

現在、建築基準法で防火性能の基準が、燃えてもいいが、突き抜けるまで30分もてばいいという基準になったため、木は、厚くすれば、防火性能がとれるようになった。

木は厚く使えば、都心でも使えるようになった。たくさん使えば燃えない。これから一軒あたりの住宅使用木材量が多くなるのではないかと。0.5㎡が3、4㎡使うようになる。

現在の部材の寸法決定など設計する際

① 川上側への配慮項目

曲がり木など、売れない材の有効利用

寸法は900mm×1820mm、1m×2mの2種類で、2mにこだわる理由は、曲がり木の利用になるので、山側の生産体制に一番メリットがあるためである。設計側から考えると、胴差から天井まで2.4mくらいあるので、2.5mにしたほうが継ぐ手間が省けるが、重量を考えると施工側に負担がある、2mとした。また、長い材は価格も高いので、コストに見合わなかったことも理由のである。

② これまでの取り組みにおいて直面した課題（解決方法、解決できなかった課題）

含水率を落とすこと

杉三層パネルの課題は、含水率が下げることであった。接着剤で材同士を繋いでいるので、含水率を14%に落とさないと接着しないため、いかに早く無理なく乾燥させるかが課題であった。高温じょうしゃ乾燥方法で、がンス率は解決した。

【導入にあたって】

標準規格化・部品化による設計上の利点や制限事項などの問題点

- ・ 寸法がある程度決まっていることと、柱が内部に多い。

事例MSの設計方法は、構造ありきでプランが練られていて、工法の特性上柱が住宅内

部にも出てきてしまうが、構造に制約を受けてないように設計することに留意している。

- ・ 材の規格化・部品化における施工時の利点や課題
杉三層パネルは、耐震壁が仕上げ材にもなり、手間が省けるが施工はあまり簡単ではない。

【影響・普及の可能性】

部材の規格化・部品化による山側への効果

- ・ 山の価値の向上と、材の有効利用
部材の開発による山側の効果は、全国に杉三層パネルを製造する工場ができ、製品製造が定着したため、地域の原木単価が高くなり、今まで使用されていなかった材を有効利用できたことである。
- ・ 他工務店等への普及の可能性と問題点・改善可能な点

広報

杉三層パネルはオープン工法なので、他工務店でも許可なしに使える製品である。今取り組んでいないのは、食わず嫌いな工務店が多いため、広報することが大切である。他工務店への普及のためには、杉三層パネルをいかに使えばいいかわかるように、わかりやすく示していくことである。既存のものとの性能の違いや、施工マニュアルも示す必要がある。

今後、地域材・国産材利用の促進をするために、設計者に必要な能力

- ・ 山の事情を知ること
- ・ 伏図が書けること
- ・ 木の価格を知ること
国産材の資源循環において設計者が努力できることは、山の事情と伏図をかけること、木の価格を知ることである。

製材業者や林業家側に必要なこと

山側への希望は、自分たちの業務をもっとうまくやってもらうことで、木の住まいを作れる伝道者を育成することである。

今後の展望について

- ・ 今後の課題や新たな取り組みの構想、行政等に望む支援
まだまだ、日本の木材の性能を出やすくしたい。

3-2 川下側の取り組み・課題

【川上側の取り組み】

川上側の木造住宅生産の現状が把握できた。

国産材の使用は、無垢材使用と集成材使用に大きくわかれている。

生産規模により、設計時の留意点や、可能な取り組みが異なっていた。

各取り組みの詳細は、4章での分析を追って説明する。

【川下側の資源循環のための課題】

以下、課題を列挙する。

- ・国産材使用にあたっては、全事例とも強度と質のばらつきが課題となっていた。
- ・一般流通材を購入すると、市場寸法の中から、実際の設計より大きめの材を購入するため施工時に無駄な材が出てしまうことから、直接原木を購入していた。(資源有効利用性)
- ・新しい工法など施工工程が変わるものを導入する際、伝統工法に慣れている大工にとっては、抵抗感が大きく、導入に難しいようだ。(汎用循環性)
- ・国産材は特別な材や技術を使用すると、コストが合わないという、課題があった。

4章 資源循環を意図した木造住宅の設計行為に関する分析

4-1 資源循環に必要な性能の整理

4-2 資源循環性の考慮方法の分析

4-3 川下側の取り組みによる環境負荷低減性の分析

4-4 設計タイプ別の資源循環性の分析

4章 資源循環を意図した木造住宅の設計行為に関する分析

本章では、適切な資源循環のための性能を把握し、その性能を設計者はどのように実現しているのか実際設計事例の取り組みをもとに整理を行う。そして、設計者タイプごとで資源循環のためにどのようなことができるのかを明らかにしておく。

4-1 資源循環に必要な性能の整理

本編では、資源循環のための性能を整理する。

木材が適切に資源循環されていくには、川上側と川下側の両方で木材が適切な規模で定期的に消費され、山では適切な山の管理がおこなわれている状態でなければならない。

また、木材の資源循環に関わる業態には、原木伐採や製材を行う川上側の業態と、川上側で製造された材を調達し、その使用方法を考える部材調達者や設計者、そしてその材を実際に組み立てる施工者などの川下側の業態がいる。

つまり、資源循環にはあらゆる業態の最適化が重要なのである。

ここまで、木造住宅の部材が製造される川上側の現状や取り組み・環境負荷について整理してきたが、本論では、最終的に資源循環を意図した木造住宅の設計をどのように実現していくかを独自の観点から明らかにすることを目的としている。

資源循環を意図した設計を行う場合、設計者が川上側のこと、川下側のこと、両者を考慮しながら、設計方法を考えていく必要がある。設計者が考慮できることはどんなことであろうか。

本論の川上側と川下側の業態の調査で、資源循環のためのいくつかの重要な要素を発見することができた。

以下、その資源循環性の定義とその根拠となった課題を表に示す。カッコ内は、課題が見られた事例を差す。

表 4.1.1 資源循環性の定義

	定義	把握できた課題
資源有効利用性	本来なら廃材になってしまうものを資源として有効利用することや、ある製品の材料として適応していなかったものを適応可能するといった、資源の価値を広げること	曲がり材など、無垢材に使用できない材が林地に捨てられている。(Y、A) 製材時に余った材の処理が難しい(ME、SR、A) 流通材を使用すると無駄な材が出やすい(SR、U)
安定消費性	一定量生産できること、川上側と川下側で効率的な生産が行えるなど、消費しやすいこと	受注生産は、時間がかかる上、高額になる(ME) 受注生産だと効率的な製材や乾燥が行えない(Y)
無偏向性	産地に限定されないこと、材の偏りがなく(使用されづらい材を出さないこと)をいう	消費される寸法が偏ると消費されないが出てしまう(ME、Y)
環境負荷低減性	製造時にできるだけ化石燃料を使用しない	製材所では、乾燥に掛かる灯油や重油の負担が財政を圧迫している(Y、ME)
長寿命性	できるだけ、長く使われること	山の成長年数よりも家の更新が早いと木が足りなくなってしまう(全)
汎用循環性	材の種類・工法・システムに特殊性がないことなど、多くの人が取り組みやすいこと	川上側は小規模経営者が多く、大きな技術変換は行いづらい(全) 川下側も大きな住宅生産者ばかりではない(D)

資源有効利用性は、製材所の歩留まりを上げる取り組みや、よく出ていく材とそうでない材があることで、製材所に材が余ってしまうこと、山の曲がり材やB級品などの林地残材の問題、小径木が多い地域があるなどの地域性の問題などから抽出した。

長寿命性は、山の成長年数（50～70年）を考慮すると、現状の住宅の寿命（35年～40年）では、バランスが崩れてしまう問題や、環境負荷低減を考慮して抽出した。

安定消費性は、川上側で受注が少ないにも関わらず、森林管理のために伐採した間伐材が余ってしまっていること、消費されないために利益が山に戻らず、適切な森林管理にまで行き届かないこと、零細経営者が多く、見込み生産できず、受注生産になってしまう傾向にあることで、効率的な製材が行えないことなどの問題から、安定消費性を抽出した。

汎用循環性は、安定消費性も担保する要素である。小規模経営者の多い川上側を考慮すると、既存の技術の使用が課題であると言える。

無偏向性は、製材時によく売れる材と偏材のような売れ残る材があることで、歩留まりが悪く、製材所に材が余ってしまうことから、抽出した。

環境負荷低減性は、できるだけ化石燃料を使用しないことであり、適切な資源循環には、なるべく化石燃料は出すべきではないことから、抽出した。

以上の観点から、実際の設計事例をもとに、資源循環の性能を実現しているか、明らかにしていく。

4-2 資源循環性の考慮方法の分析

適切な資源循環のための性能を、設計者はどのように実現しているのか、実際の設計事例の取り組みをもとに整理を行う。

4-2-1 資源有効利用性の分析

表 4.2.1 資源有効利用性のまとめ

	資源有効利用性
事例 S	玉切り尺を設計に合わせて設定 施工時に無駄な材がでないようにする ヤング率を測定 構造材に使用されづらい材を適材適所に使用する
事例 U	玉切り尺を設計に合わせて発注 施工時に無駄な材がでないようにする 施工の手間を省く 定番の木取り図の作成 原木の有効利用 歩留まりがよい木取りができる寸法決定 取り外しが容易でどの材の組み合わせでも可能な金物接合 材の断面欠損を少なくする
事例 S R	B級品や曲がり材を住宅部材開発 山の価値を上げる
事例 D	ヤング率の徹底した測定(ヤング率70、含水率15%以下) 良材でない材が使用できる余地のある設計 杉の使用用途の拡大
事例 M S	B級品から開発された材の使用 杉の使用用途の拡大 材の断面欠損の少なく目立たない金物による接合

本論での資源有効利用とは、本来なら廃材になってしまうものを資源として有効利用することや、ある製品の材料として適応していなかったものを適応可能するといった、資源の価値を広げることである。

資源有効利用性の考慮は、全ての事例で行われている。

資源の有効利用のレベルとして、山レベルでの有効利用と材レベルでの有効利用の2つのタイプが見られた。

山へ干渉している新産住宅と事例Uでは、設計者が直接原木を購入している。そのため、山での原木伐採時の玉切り尺を設計にあわせて、無駄がでないように指定して材レベルでの有効利用を行っている。

事例Uでは、木取りに至るまで山側へ指定をしていて、原木が無駄にならない寸法に基づいて住宅設計が行われている。これは、「できるだけ少ない原木で住宅の建てる」建て方に徹底した設計であり、合理化された住宅が資源の有効利用に直結していると言える。

資源循環としては、これらの取り組みは資源の有効利用として捉えられるが、聞き取り調査の結果、使用者側の意図としては、自社で原木を購入しているので、それを無駄なく使用するほうが会社の利益になることが大きい。

また、事例Uと事例MSに至っては、意匠性と資源有効利用を考慮した材の接合部の断面欠損が少ない金物を使用している。

事例SRと事例MSでは、山レベルの木材の有効利用を意識している。山で通常製材品にはならない曲がり材やB級品を、部材開発により安定した質の住宅製品に変え、使用されづらかった森林資源の有効利用を図ることで山の価値を上げることに貢献している。聞き取り調査より、実際にそれまで安値であったB級品や曲がり材の価格が上がったことがわかった。

B級品や曲がり材を使用した部品開発は、その製造ラインの確立など、金銭的にも物理的にも一定量の規模が必要である。そのため、小規模な工務店や設計事務所だけでは行いづらい取り組みである。

事例MSは、設計事務所での取り組みであるが、製材所と協力して、杉三層パネルの開発を行っていた。

事例Dと事例Sでは、杉のヤング率と含水率の測定を徹底的に行っている。これは、大量に資源蓄積がされている地域材の杉をより多く住宅に使用するためである。杉は、JAS規格でヤング率50とされ、構造材に使用されづらい。ヤング率を測ることで、構造材に使用できる強度(ヤング率70以上)のある杉をより集めることができ、杉の使用用途の拡大に貢献している取り組みである。これも材レベルの木材の有効利用と言える。

【まとめ】

資源の有効利用のレベルとして、山レベルでの有効利用と材レベルでの有効利用の2つのタイプが見られた。事例から得られた取り組みの図を表に示す。

表 4.2.2 資源有効利用性の実現方法

山レベル	B級品や曲がり材からの住宅部材開発
材レベル	原木玉切り指定
	木取り図指定
	断面欠損の少ない金物の使用
	規格で一律化されている各材の強度を可視化することで使用用途を広げる

設計主体は、山に干渉することで資源有効利用性を考慮しやすいと言える。また、技術を持っている業態や量産できる業態は山レベルの資源有効利用を考慮しやすいと思われる。

事例Uのように設計者が木取り図まで考えた設計を行うことで、資源の有効利用しやすくなるが、実際に一般的な設計者がやれるわけでないこともここで述べておく。

4-2-2 長寿命性の分析

表 4.2.3 長寿命性のまとめ

	長寿命性
事例 S	太めの寸法設定 材の強度化と住宅の長寿命化
事例 U	部品化 取り外しが容易な金物接合 修繕しやすくし、長寿命化
事例 S R	強度ある集成材を使用し、独自の構法により頑丈な家を実現している。
事例 M S	強度ある金物と部材の開発と使用（杉三層パネルの使用） 丈夫で長持ちする家の実現
事例 D	構造と機能の分離により長寿命化

資源循環の性能に長寿命性があげられるのは、現状、木の成長年数は一般的に 50 年から 60 年であるのに対して、日本の木造住宅の寿命は 35 年と短く、木の成長しないうちに住宅が壊されてしまっていることからである。適切な資源循環がおこなわれるためには、木の成長年数と同じだけの住宅の寿命が保たれるべきである。また、長寿命化は資源有効利用性にもつながる性能でもある。

長寿命性は、全ての事例で考慮されている。

長寿命性には、構造材の耐久性・耐震性に特化したものと、ある程度の材の耐久性を持ちながら、間取りや部位の更新をしやすくする可変性を実現した長寿命性の 2 つのタイプが見られる。

新産住宅では、九州の材は太い材が多いという地域性と無垢材を使用する条件から、構造材の寸法を太めに設定し、耐久性で長寿命化を実現している。

事例 U では、住宅の部材が部品化されていて、接合も独自の開発による取り外しが容易な金物を使用し、更新をしやすくする可変性で長寿命化を実現している。

事例 S R では、強度と質の安定している集成材を使用し、独自の工法により十分な強度を得ることで、耐久性・耐震性で長寿命化を実現している。

事例 D では、構造体と内装などの機能が分離させ、間取りや設備更新をしやすくする可変性で長寿命性を獲得している。

事例 M S では、強度のある金物接合と丈夫な部材を使用することで、構造体の耐久性で長寿命化を獲得している。また、間取りは家具で取る設計をしており、間取りの更新も行いやすくなっている。

量産をしている事例Sや事例SRでは、建築自体の長寿命性を確保する傾向にある。これは、住まい手が手をかけなくても長寿命な住宅を前提にしていると言える。

量産をしていない事例Dや事例U、事例MSは、設計者主導で住宅設計が行われている事例で、これらは修繕や更新を前提としていて、間取りや機能の更新を行いやすくすることで、世代を跨いで居住可能にすることを意図している。

【まとめ】

長寿命性には、構造材の耐久性・耐震性に特化したものと、ある程度の材の耐久性を持ちながら、間取りや部位の更新をしやすくする可変性を実現した長寿命性の2つのタイプが見られる。各事例の長寿命性の概要を下の表に示す。

表 4.2.4 長寿命性の実現のための各事例の方法

事例S	事例U	事例SR	事例D	事例MS
耐久性：材の太さ (地域制)	耐久性：金物・構法 (パネル化) 可変性：金物・構法 (部品化)	耐久性：材の質 独自の構法	耐久性：綿密な構造計画 可変性：構造計画・設計 (構造と機能の分離)	耐久性：材の質・金物・ 構法 可変性：内部設計

長寿命化の方向性として、材自体に強度を持たせ、住まい手が手をかけなくても長寿命な住宅を前提にしている耐久性に特化したものと、部材同士の接合方法が工夫されていて、修繕や更新を前提とし、間取りや機能の更新を行いやすくし、可変性に特化したものがある。

理想をいえば、耐久性・耐震性・可変性の3点を満たすことである。材の耐久性を求めれば、集成材のように材自体の強度を人工的に上げることで、耐久性を発揮することができるが、集成材ばかり使用することは現実的でない。それを踏まえると、設計者は、ある程度の強度の材でも保ちうる耐震性や可変性を実現する構造計画を十分にすることが必要と言え、川上側もできる限りの質のよい木材を製造するべきである。

4-2-3 安定消費性の分析

表 4.2.5 安定消費性のまとめ

	安定消費性
事例 S	設計ルールの設定 規格化 材の寸法の少量化（構造材） 在庫管理表の製作 在庫管理の徹底
事例 U	設計ルールの設定 規格化 断面寸法の種類を住宅全体で統一、規格化 製材の効率化と施工の効率化 山の寸法に合わせた寸法決定 山の負担の軽減
事例 S R	寸法の規格化 一定量を効率よく生産するため
事例 M S	設計ルールの設定 規格化 材の寸法と材の種類の少量化、規格化（構造材） 山側の見込み生産の実現
事例 D	設計ルールの設定 規格化 材の寸法と材の種類の少量化・統一、規格化（構造材） 施工の効率化 製材の効率化

安定消費性への考慮は、設計段階で全事例とも行われている。

本論での安定消費性とは、一定量生産できるシステムであることで、つまり川上側と川下側で効率的な生産が行えるなど、消費しやすさを言う。

全事例とも、設計ルールを設定し、見込み生産が行いやすい考慮をしている。見込み生産がしやすいということは、消費し易いことであるため、安定消費性といえる。また、事例 S R と事例 S 以外の事例は、川上側の効率化と見込み生産を可能にするため、材の寸法を統一して寸法の種類を減らし、製材所側の作業効率化と施工時の効率化を図っている。

中でも、事例 D や事例 M S は、材の寸法の種類を減らすだけでなく、材の種類も減らし

ている。事例Dに関しては、床の材種を全て同じにすることで、施工の効率を上げることを意図している。

事例Uは、材の種類と寸法を住宅全体（建具まで含め）数種類に統一していることで、美醜が劣る材を目立たないところへ使用したり、同じ寸法のものが、いろんな部位に使用可能であったり、住宅レベルでの転用可能にしていた。また、山によくある寸法で可能な寸法決定を行っていた。

この取り組みは、設計者の意図としては、小規模な経営をしているのでなるべく在庫を持たないようにするためのものであったが、資源循環性から捉えると、材の消費しやすさ、安定消費性に繋がっていると言える。

材の寸法の種類を減らす取り組みについて、ここで他事例と比較をすると、事例Sは、事例U（全6種）や事例D（構造材羽柄材で9種）に比べると、構造材のみで9種で羽柄材は12種とそれほど種類は減らしていない。これは、量産型であるため、種類はそこまで減らさなくても一つ一つ量があるため、川上側も効率的な生産がしやすいからだと考えられる。つまり、量産する場合は、1木造住宅生産者の規格において、寸法の種類を減らさなくても資源循環を配慮できると捉えられる。

表 断面寸法の種類数

断面寸法の種類数	事例S	事例U	事例D
構造材	9	4	7
羽柄材	12		2
その他	—	2	5

量産を行っている事例Sと事例SRに関しては、材の種類を減らす取り組みは行われていない。事例Sの場合は、地域材の杉を主に使用することを意図しているのもともと種類は多くない。

事例SRの場合は、量産しているので、種類を減らさなくても製材所側は見込み生産ができるためであると考えられる。量産することは、材種に制限を受けづらくなることが考えられる。

尚、安定消費性は、本論の資源循環として必要な要素であるが、使用側は、資源循環を考慮しているのではなく、仕事の効率化や負担の軽減、少人数でも可能な生産方法など、住宅生産の合理化のためである。

【まとめ】

安定消費性を実現していくには、川上側が見込み生産しやすいように設計ルールを設定し、規格化することが重要であることがわかった。さらに、規格化するにあたって、材の寸法や種類を減らすことで、製材の効率化と施工の効率化を図っている。

しかし、一定量木材を消費していかなければ、資源循環は起きないが、皆が同じ材ばかり使用することや過剰に使用しては、サイクルが崩れてしまう。そのため、材に偏りがないうほうがよいが（次項で分析する無偏向性のことである）、事例全体的に安定消費性のために設計ルールを設定し規格化しているため、無偏向性が考慮されづらくなっていると言える。しかし、事例 U に関しては、歩留まり良く製材できる木取り寸法を使用した住宅設計を行っているので、自然と設計ルールの設定や規格化を行っていても、材になるべく偏りなく消費する無偏向性が考慮されている。

設計者の裁量で、どこまで考慮するかは変わってくるといえる。

資源循環を意図した木造住宅の設計を考えると、事例 S R のように、川上から川下まで自社でマネジメントしながら木造住宅生産を行う業態が消費すべき材と、事例 U のような設計者が山へ干渉しながら小規模に木造住宅生産を行っていく業態が消費すべき材は、異なってくることを留意する必要があるだろう。

4-2-4 汎用循環性の分析

表 4.2.6 汎用循環性のまとめ

汎用循環性	素材	製材	工法	施工技術	流通	全体
事例S	●:地域の杉材	●:無垢材	●:一般的な木造軸組工法	●	×天然乾燥材を使用した住宅生産 土地の確保と維持	高い
事例U	●:地域の杉材	●:無垢材	▲:オリジナルのパネル式工法と金物接合 であるが、オープンシステムである	▲:未熟練者でも可能な方法を取っ ているが、逆に大工には×	×山で葉がらし乾燥させた材を指定 しているが、特別に行ってもらって いる。地域差が大きい。	普通
事例MS (軸組み)	×:材の基準が高く、設計者が認 定した製材所のみからの材の調 達	●:無垢材	▲:オリジナルのパネル式工法と特殊な金 物接合であるが、オープンシステムである	●	●設計者の意思次第	普通
事例MS (パネル)	●:B級品や曲がり材を使用	×:乾燥方法に工夫が必要	—	▲:特別な技術は必要ないが、一般 的軸組み工法に比べると面倒な点もある		
事例SR	●:B級品や曲がり材を使用	×:オリジナルの乾燥方法 で、部材の品質の基準が高 い。	×:自社で開発した開発されたオリジナ ルな構法を使用して、かつクローズシ ステムである。	●	×:製材所からプレカット工場までメ カ指定である。	低い
事例D	●:地域の杉材	●:一般流通材と既存の技術 の使用 ▲:指定されたヤング率・含水 率を満たした材	●:一般的な木造軸組工法	▲:特別な技術は必要ないが、一般 的軸組み工法と少し違う点もあるため、 慣れるまで手がかかる。	●設計主体の意思次第	高い

●:特殊性が低い
▲:基本的に特殊性が
低い但实际上は少し配
慮が必要
×:特殊性が高い

本論での汎用循環性とは、材の種類・工法・システムに特殊性がないこと、つまり、多くの人が取り組みやすいことをいう。

汎用循環性は、設計意図として考慮されているものとそうでないものがある。

事例 U と事例Dでは、他工務店でも生産可能な方法を意図して設計されているが、それ以外は特に設計段階での考慮はない。

ここでは、汎用循環性について、素材・製材・工法・施工技術・流通での各事例の汎用循環性について【まとめ】、評価したものを表にまとめた。

事例 U では、独自の構法のパネル住宅であるが、オープンシステムである。また、設計時に未熟練者でも生産可能な方法を考慮して設計方法を提案している。接合部も、独自の金物を使用しているが、これもオープンシステムであるため、他社でも使用可能である。

事例Dは、低価格住宅という条件のある設計であったため、設計段階で特殊な技術や材は使用せず、既存の技術と材の使用に徹底していた。ただし、既存の技術のアレンジメントした設計なので、一般的な木造軸組み工法とも少し異なる。

事例 U では、聞き取り調査によると、未熟練者、つまり建設業に携わったことがない人でも生産可能であることを考慮しているのに対して、事例Dは、質を保つために熟練者が施工することを想定して設計されていた。

両社とも設計段階で汎用循環性が考慮されていたにも関わらず、現状ではまだ普及はしているとは言い難い。その理由は、聞き取り調査によると、他社の新しい生産方法に対する過剰な慎重性によるところが大きいようだった。

事例 U に関しては、聞き取り調査で「施工技術自体は簡単なものだが、大工にとっては

慣れない作業であるため、嫌がられる場合もある」ということが分かった。誰にでも作れるという意味では、汎用循環性がある設計ではあるが、実際には、施工者によっては、設計意図と反してしまうことが分かる。(これは、どんなに優れた新しい住宅設計であっても、実際に施工する側の事情も考慮しなければ、実現しにくいと言える。)

事例Sは、天然乾燥材を使用した住宅を年間 200 棟近く供給し、工法も一般的なものであるが、天然乾燥材の住宅生産の実現には「天然乾燥に適した温暖な気候であること、見込み生産が可能であること、ストックのための場所を維持できる資金力があること」が条件にあげられる。そのため、天然乾燥材を使用する量産型の住宅生産の実現を一般的な工務店が行うのは容易ではなく、事例Sの流通の汎用循環性は低いと言える。

事例SRは、業態の性質上、他社との差別化を余儀なくされるので、自社独自のものがあり、使用している素材に関しては、特殊性はないが、何度も実験を繰り返して開発された乾燥方法や部材を使用していて、汎用循環性は劣る。しかし、本論では、評価できない項目ではないが、住宅の質としてレベルが高いものである。

事例MSは、特殊金物と杉三層パネルによるパネル工法で、現時点で特殊性はあるが、波及効果はある。ただし、材の調達に関しては、設計者に林産地とのコネクションがあることや木に関する知識が必要である。

【まとめ】

汎用循環性は、設計意図として考慮されているものとそうでないものがあった。しかし、設計段階で考慮されていても、それが容易に実現しているわけではなかった。素材レベルや技術では、汎用循環性は発揮されているが、流通面では難しいようだ。その理由としては、聞き取り調査より、他社の新しい生産方法に対する過剰な慎重性によるところが大きいことがあげられた。

汎用循環性を発揮するには、どんなに良い工法でも、施工側には抵抗あるなど、設計段階での考慮だけでは、普及させるのは難しく、実際に誰がどのようなことをやるのかまで考える必要があり、その実現性への考慮も必要になってくる。

4-2-5 無偏向性の分析

表 4.2.7 無偏向性のまとめ

	山レベル	原木レベル	製材レベル	緩和策
事例S	▲地域の山であったほうがよい	▲最低断面寸法はある	×規格化	ヤング率を測定し、適材適所に材を使用
事例U	▲地域の山であったほうがよい	▲最低断面寸法はある	●美醜は問わない ●原木から製材の歩留まりを良くする寸法で寸法決定 ×規格化	・部材を適材適所に使用 ・過去に山の寸法の変化に合わせて、寸法を変えていた。
事例SR	●国内外問わず限定的でない	●集成材なので、寸法に制限が広い	×基準が高い ×規格化	製材端材から住宅部材の開発
事例D	●国内外問わず限定的でない		●美醜は問わない ×規格化 ×ヤング率・含水率の指定	ヤング率を測定し、適材適所に材を使用
事例MS	●全国の林産地にコネクションがある		×基準が高い ×規格化	—

●無偏向性高い
▲優劣がある
×無偏向性低い

本論での無偏向性とは、産地に限定されないこと、材の偏りがなく（使用されづらい材を出さないこと）をいう。

各事例の山レベル、原木レベル、製材レベルでの無偏向性とその緩和策と捉えられたものをまとめたものを上の表にまとめた。

山レベルでは、玉切り指定など山へ設計側からいくつかの指定を行っている事例Sや事例Uは、山への指定のしやすさを考えると地域材であることが望ましい。この2事例は、山へ干渉することで、資源の有効利用や、環境負荷少ない天然乾燥材使用を可能にする面もある。そのことを踏まえると、川上側と川下側の距離は近いほうがよいという山の偏りはあるが、日本の木材を、資源循環を考慮して使用していく方法としてよいと言える。

事例SRや事例D、事例MSは、ある基準を満たす材さえ調達すれば実現可能であり、日本全体で考えると産地に偏りなく、例え外材でも設計可能である。

原木レベルでは、集成材を使用している事例SR以外は、無垢材であるため、特に柱や横架材など住宅の中で太い材が取れる断面寸法の木であることが条件になる。これは、当たり前前で、きちんと山が循環されていれば定常的に成長していくはずなので、本来問題ない話である。日本においても、森林資源は蓄積されすぎてしまっているのが現状では問題はないが、仮に今後中国など住宅着工数が増えている外国へ木を輸出するようになった

とき、考慮しなければならないことである。

製材レベルでは、全事例とも、見込み生産をしやすいように（安定消費性）製材を規格化し寸法の種類も減らしているのので、製材レベルではどれも材には偏りが出てしまう。

中でも、事例Uに関しては、歩留まり良く製材できる木取り寸法を使用した住宅設計を行っているのので、自然と設計ルールの設定や規格化を行っていても、材になるべく偏りなく消費する無偏向性が考慮されている。

事例Uと事例Dでは、聞き取り調査より「山の木を差別化せず、並材を平たく使用していくために美醜を問わず材を使用するようにした。」「見た目がきれいではない材を使用できるように、真壁工法から大壁工法に変更した。強度がない材が使用できるように、強度があまり必要ない個所を作るように設計した。」ということがわかった。

つまり、事例Uと事例Dに関しては、設計段階で製材レベルの材の質における無偏向性について意識的に考慮されていた。

2つの相違点としては、事例Uは、真壁工法で壁も木製パネルをしようしているため、構造表しの上で美醜を問わないようにしているのに対して、事例Dは、美醜を問わず木材を使用するために、真壁工法から大壁工法に設計変更が行われている。

事例Dに関しては、構造計画上と構造材として使用されづらい杉を構造材に使用するため（資源有効利用性）、ヤング率と含水率が基準を満たす杉材である必要があり、主要構造部材に関しては、偏りがある。しかし、良材ではない材を使用できる余地のある設計を行っており（大は小を兼ねる式）、これも適材適所を意図している。

事例SRでは、集成材を使用することで山の曲がり材や製材時の端材など使用されづらかったものも使用可能なように、資材の幅を広げている点で、材レベルの無偏向性は高い。

【まとめ】

山レベルでは、事例Sや事例Uは、山への指定のしやすさを考えると地域材であることが望ましく産地が偏ってしまうが、この2事例は、山へ干渉することで、資源の有効利用や、環境負荷少ない天然乾燥材使用を可能にしている面もある。そのことを踏まえると、川上側と川下側の距離は近いほうがよいという山の偏りはあるが、日本の木材を、資源循環を考慮して使用していく方法としてよいと言える。

しかし、山の付近は、基本的に田舎であり、住宅着工数も少ないので、全国的な森林を対象とした木造住宅生産者も必要である。

製材レベルでは、全事例とも、見込み生産をしやすいように（安定消費性）製材を規格化し寸法の種類も減らしているのので、製材レベルではどれも材には偏りが出てしまう。

中でも、事例Uに関しては、歩留まり良く製材できる木取り寸法を使用した住宅設計を

行っているため、自然と設計ルールの設定や規格化を行っていても、材になるべく偏りなく消費する無偏向性が考慮されていて、資源循環を意図した木造住宅として質が高い。

しかし、一般的な木造住宅生産者がここまで行うことは難しい面もある。このことと、2章の川上側の聞き取り調査で得られた「設計事務所は普段売れないような材を使用してくれるから、製材所にとっては好都合である」という情報を加味すると、設計ルールは毎回異なる設計事務所など設計者はやはり必要で、そのような設計者が資源循環を考慮した木造住宅設計を行う場合、製材所で余った材をうまく使用した設計を考えることが重要だと言える。

4-2-6 環境負荷低減性の分析

表 4.2.8 環境負荷低減性のまとめ

	環境負荷低減性
事例 S	葉がらし乾燥材の使用 天然乾燥材 地域材・国産材使用 産地直送で無駄な輸送が少ない。
事例 U	地域材使用 産地直送で無駄な輸送が少ない。
事例 S R	全国各地に指定工場を持つ。 新築時のゼロエミッション
事例 MS	天然乾燥材の選択
事例 D	地域材使用 工期の短縮

全事例とも、環境負荷軽減性に貢献している。

事例 S と事例 U と事例 MS は、山で葉がらし乾燥し、その後も材を天然乾燥して、2-2 での環境負荷のデータからもわかるように、乾燥工程での化石燃料の消費がない。その点で、天然乾燥材の選択が、環境負荷軽減性に貢献していると言える。

事例 S、事例 U、事例 MS の共通点は、安定消費性の表からわかるように、見込み生産し易いように、設計ルールを設定し、材の寸法の種類を減らしている。天然乾燥材は、1年以上乾燥に時間がかかるため、在庫管理も重要である。

事例 U は、事例 S、事例 MS との相違点として、在庫がはけていくように住宅全体の部材の寸法統一をしていた。それは、在庫を自分たちで管理していることと、小規模な生産であるため、事例 S のように在庫を管理しておくだけの土地の確保と維持が難しいからであった。天然乾燥材を使用する場合、在庫を製材所で管理してもらうか、設計者側が在庫を管理するかも設計時の留意点が異なってくるといえる。

ただし、実際葉がらし乾燥を行う人や使用する側は、山で葉がらし乾燥したほうが、重量が軽くなるので運搬時の負担が減ることと、天然乾燥材のほうが木の特性を活かせ、加工しやすいといった川下側の作業の効率化を意図して天然乾燥を選択している。

事例 U では、大工の作業負担を軽減して、小規模な会社経営の安定を図ることも意図していた。

原木の葉がらし乾燥前と後の重さについて、事例Sが計測したものが下の表である。

表 4.2.9 葉がらし乾燥前と乾燥後の重さ

	例 1		例 2	
	m ³	kg	m ³	kg
葉がらし乾燥前	4.69	4990.00	8.67	1010.00
葉がらし乾燥後	14.38	8800.00	11.05	6950.00
	kg/m ³		kg/m ³	
葉がらし乾燥前	1063.74		116.49	
葉がらし乾燥後	611.96		628.90	

また、事例S・事例U・事例Dは、地域の山から直接原木を購入し、余分な流通経路を跨がずに地域に住宅供給をしているので、運送距離が比較的短いという点でも環境負荷低減性を発揮していることが考えられる。この定量的な分析は、次節で行う。

逆に、事例MSに関しては、全国にある指定製材所や林業家が決まっているので、必ずしも地域内で住宅生産が納まるとは限らない。

事例SRは、工業化住宅メーカーの量産性を活かし、新築時に発生する住宅廃棄物の再資源化を行っている。また、全国に指定工場をもつことで、建設現場までに掛かる運搬距離をある規模に抑えることが可能であると考えられる。→設計タイプで使う。

また、運搬に関しては、量産を実際に行っているタイプでは、積載率が良い運搬を行いやすいと考えられ、年間数十棟や数棟レベルだと、積載率が悪いなど非効率的になりやすいことが考えられる。

事例Dでは、低価格という設計条件があったため、工期が通常の1/2で施工の効率化が徹底されている。

そのことを考えると、そのため施工時に消費されているエネルギーは比較的少ないのではないかと考えられる。(考察により、データはなし)

4-3 川下側の取り組みによる環境負荷低減性の分析（LCA）

本項では、資源循環の性能の中から、比較的把握し易い「環境負荷的低減性」と取り出し、実際川下側の効果が、どれくらい環境負荷低減性に効果を上げているかを定量的な把握を行う。

具体的には、川下側での取り組みと、川上側で得られた環境負荷のデータを基に、LCAモデルを作成し、設計者が配慮できる範囲の環境負荷低減効果を定量的に把握し、分析を行った。システム境界は、伐採から製材・乾燥・加工をへて建設現場までの施工の手前とした。

LCAモデルの分析は以下の観点で行った。

- A) 乾燥方法別の実事例のLCAモデルの比較
- B) 乾燥方法と輸送距離の違うLCAモデルの比較
- C) 歩留まりの違いによるLCAモデルの比較
- D) 現実的に可能性のある理想的なモデルの比較

現実的に可能性のありそうなモデルを想定し、ケーススタディ的に分析を行った。また、基本モデルの使用木材量や歩留まりの設定を下の表に示す。

表 4.2.10 LCA標準モデル

住宅の部材構成の設定		割合	
構造材（ひき角）	柱	16%	51%
	横架材	35%	
準構造材（ひき割）	合板	9%	32%
	羽柄材	23%	
板類	下地材・ 造作材	14.00%	18%
	仕上げ材	3%	

原木-製材（乾燥材）の歩留まり	50%
-----------------	-----

一棟当たりの原木使用量(m ³)	52
------------------------------	----

一棟当たりの木材使用量(m ³)	26
------------------------------	----

一棟当たりの一般的な木材使用量は26 m³であることから(ウッドマイルズ研究会試算)、一棟当たり26 m³と設定した。

ひき角・ひき割・板類の各木材の使用量の割合は、財団法人日本住宅・木材技術センター「木造軸組工法の木材使用量」より、平均値から設定した。

※事例Sの歩留まりについては、下記のものを使用した。

原木一製材(乾燥材)の歩留まり	65%
原木一製品(乾燥材)の歩留まり	58%

表 4.2.11 事例Sの歩留まり

A) 乾燥方法別の実事例の LCA モデルの比較

「事例 S」天然乾燥

表 4.2.12 事例 S の伐採からプレカットまでの CO2 原単位 (kg-CO₂/m³)

伐採	輸送あ	製材	乾燥	輸送い	ツ (プレカ加工)
①	原木輸送	④	⑤	製材輸送	⑦
12.53	2.34	7.68	14.26	5.05	24.72

上記は、2章で行った環境負荷の結果である。

事例 S は、他事例よりも工程が分割されている分、工程間の輸送が多い。他事例と比較するにあたって、簡単のため、原木輸送分を「輸送あ」、製材輸送分を「輸送い」にまとめた。

尚、乾燥工程には一次加工と土場でのフォークリフトの使用による軽油由来の CO₂ 原単位を含む。

上記の伐採から再加工(プレカット)までを合計を、天然乾燥方法でのプレカットまでの CO₂ 原単位とする。(下表参照)

表 4.2.13 天然乾燥方法でのプレカットまでの CO2 原単位

天然乾燥 (事例 S)	66.57	kg-CO ₂ /m ³
-------------	-------	------------------------------------

「事例Y」燃油と木質バイオマスによる人工乾燥

表 4.2.14 各材の工程ごとの CO2 原単位

事例 Y	伐採	輸送あ	製材工程	乾燥工程	輸送い	(プレカット) 再加工	単位
ひき角類	6.25	1.05	35.80	299.90	16.00	12.00	kg-CO ₂ /m ³
ひき割類	6.25	1.05	35.80	200.30	16.00	12.00	kg-CO ₂ /m ³
板類	6.25	1.05	35.80	132.80	16.00	-	kg-CO ₂ /m ³

事例Yの伐採時の CO2 原単位は、参考文献¹²より、引用した。

輸送あに関しては、聞き取り調査から、伐採現場から約 1.2 km 輸送していると仮定し、10t トラックにより輸送していると設定した。尚、算出においては、トンキロ法を用いて材の比重を 0.66 とし、算定式Cより計算を行った。

輸送いに関しては、聞き取り調査より、91 km 輸送していると仮定した。輸送いに関してもトンキロ法を用い、材の比重を 0.38 とし、算定式Cより計算を行った。

上記の伐採から再加工(プレカット)までを合計を、燃油と木質バイオマスによる人工乾燥の CO2 原単位とし、下に示す。

表 4.2.15 燃油と木質バイオマスによる人工乾燥の CO2 原単

燃油と木質バイオマスによる人工乾燥 (事例 Y)	ひき角類	370.99	kg-CO ₂ /m ³
	ひき割類	271.39	kg-CO ₂ /m ³
	板類	191.89	kg-CO ₂ /m ³

¹²慶応義塾大学院 伊香賀研究室「現地調査に基づく地場産材構造用集成材のインベントリ分析と環境評価」

「事例A A」燃油のみによる人工乾燥

表 4.2.16 燃油による人工乾燥の CO2 原単位

kg-CO ₂ /m ³	伐採	輸送あ	製材	乾燥	輸送い	カット (プレ 加工)
A Aひき角類	22	6	51	109	25	12
A Aひき割類	22	6	51	55	25	12
板類	22	6	51	18	25	-

事例A Aの伐採・輸送のCO₂原単位は、既往研究より引用した。

上記の伐採から再加工(プレカット)までを合計を、燃油による人工乾燥のCO₂原単位とし、下に示す。

表 4.2.17 燃油による人工乾燥の CO2 原単位

燃油のみによる人工乾燥 (事例A A)	ひき角類	225	kg-CO ₂ /m ³
	ひき割類	171	kg-CO ₂ /m ³
	板類	122	kg-CO ₂ /m ³

また、事例ANと事例Iに関しても、既往研究より引用した。
以下、その結果を下に示す。

「事例AN」木質バイオマスのみによる人工乾燥

表 4.2.18 各材の工程ごとの CO2 原単位

kg-CO ₂ /m ³	伐採	あ 輸送	製材	乾燥	い 輸送	ツト ヲレカ	加工
ANひき角類	22	6	28	25	25		12
ANひき割類	22	6	28	12	25		12
AN板類	22	6	28	4.1	25		-

表 4.2.19 各材の加工までの CO2 原単位

木質バイオマスによる 人工乾燥（事例AN）	ひき角類	118	kg-CO ₂ /m ³
	ひき割類	105	kg-CO ₂ /m ³
	板類	85.1	kg-CO ₂ /m ³

「事例I」輸入タイプ」

表 4.2.20 各材の工程ごとの CO2 原単位

kg-CO ₂ /m ³	伐採	輸送あ	製材	乾燥	輸送い	ツレカ ツト	加工
Iひき角類	4	16	12	36	86		16.00
Iひき割類	4	16	12	36	86		16.00
I板類	4	16	12	36	86		16.00

表 4.2.21 各材の加工までの CO2 原単位

外国の汚泥と木質バイオマスの混合燃料による人工乾燥（事例 I）	170	kg-CO ₂ /m ³
---------------------------------	-----	------------------------------------

以上の結果より、全事例を比較していく。

全事例の調査結果を以下にまとめる。下の表は各工程の CO2 原単位を単純に積み上げたものである。

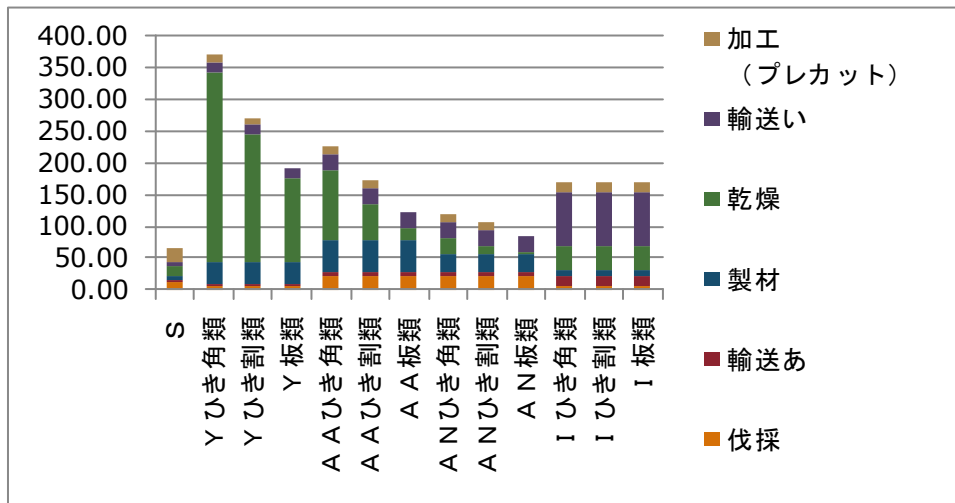


図 4.2.1：各材別の各工程における CO2 原単位 (kg-CO2)

また、上のデータをもとに、標準モデルの設定で乾燥方法別の一棟当たりの CO2 原単位を下表に示す。(kg-CO2/m³)

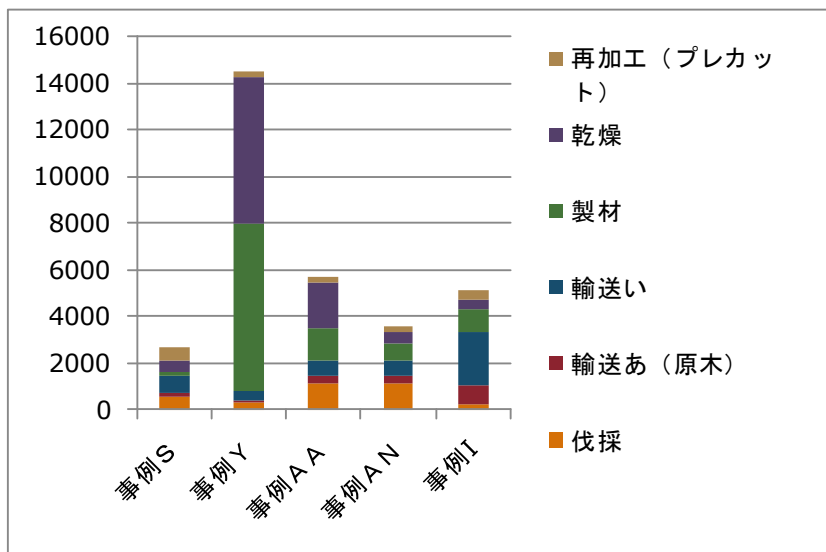


図 4.2.2: 乾燥方法別の一棟当たりの CO2 原単位 (kg-CO2)

事例Sは、製材乾燥工程で、他事例と比べて優位にでているため、環境負荷はかなり低い。しかし、プレカット段階は、他の事例より大きい傾向にある。

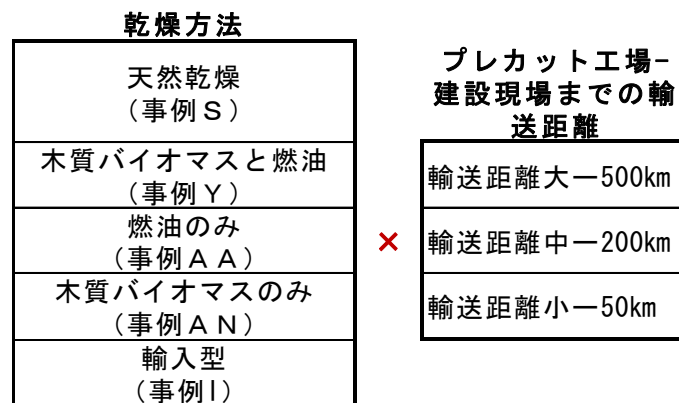
事例Yは、乾燥製材工程でかなりのエネルギー消費があることが分かる。他は他事例と比べると低くなっている。

事例AAと事例Iを比較すると、輸送では事例AAが優位に出ているが、伐採工程と乾燥工程で、事例Iが優位なため、全体としてほとんど変わらない。これは、地域材・国産材だからと言って環境に優しいわけではない場合もあることを表している。

これを踏まえると、設計者や部材調達者は、選定する材の乾燥方法や製材所の規模、そして輸送方法などに気を留める必要があると言える。製材業者もなるべく効率的な生産を行う必要があるといえる。

B) 乾燥方法と輸送距離の違う LCA モデルの比較

A) で得られた 1 棟たりの乾燥方法と、プレカット工場までの輸送距離を 50 km、200 km、500 km の 3 タイプを設定し、その組み合わせで分析を行った。



図：LCAモデルの組立

尚、プレカット工場から建設現場までの輸送による環境負荷の算定は、トンキロ法で行い、材の比重を 0.38 とし、4 tトラックで輸送したものとした。

その結果を以下に示す。

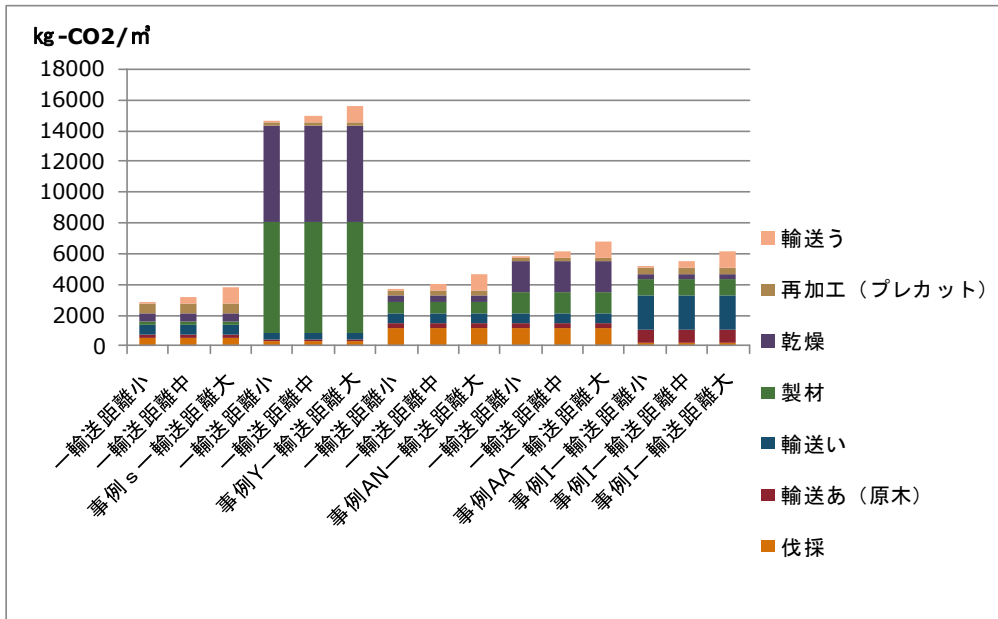


図 4.2.3 : 乾燥方法と輸送のちがいによる CO2 原単位

輸入型の事例 I で輸送距離が大きいものは、人工乾燥材で輸送距離が小さいものは、さほど変わらない。天然乾燥材でも輸送距離が大きくなると、木質バイオマスによる人工乾燥で輸送距離が小さいものとあまりかわらないことがわかる。これは、都心部で環境に優しからとって、遠くから天然乾燥材を運んでくることは本末転倒になってしまう場合があることを示している。

地産地消型が必ずしも環境に優しいわけではないことに、木造住宅生産に関わる人たちは、留意するべきである。

天然乾燥材の選定による環境負荷低減性は大きいが、天然乾燥材は常時使用していかないと山側にとって、二度山に入らないといけないので非効率的である。また、天然乾燥材を常時使用するには、見込み生産ができ在庫管理も容易な設計を行う必要がある。つまり、合理化された住宅設計ほど天然乾燥材は選択しやすく、環境負荷低減性に貢献できるのだが、現状、天然乾燥材を生産している川上側の業者が少ないことなどから、顕在化していない。

C) 歩留まりの違いによる LCA モデルの比較

ここでは、標準モデル上の歩留まりを変化させたものを比較する。
歩留まりを 50%、60%、70% と変化させた。
以下、結果を示す。

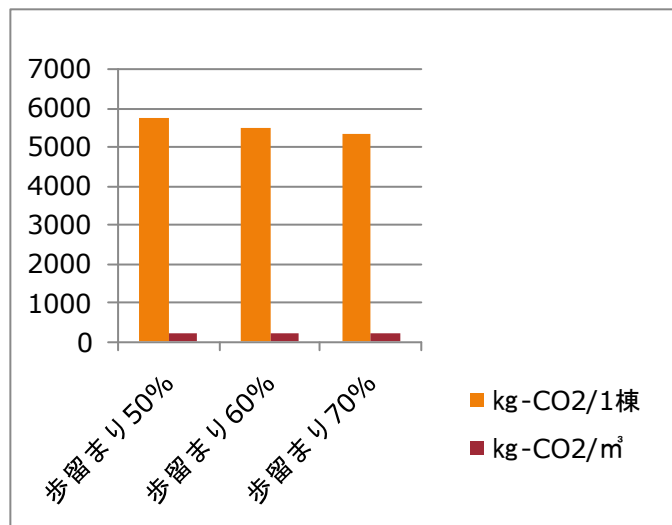


図 4.2.4 : 歩留まりの違いによる CO2 原単位

歩留まりが 50%~70%の間では、さほど環境負荷低減効果はなかった。

しかし、川上側の調査からわかるとおり、製材所は歩留まりをあげることに、努力している。それは、歩留まりを良くすることは、製材所にとっては、無駄なく製品にすることで利益率が上がるからである。これは、木材を循環させていく上で重要な要素である。

また、木材も産業廃棄物として取り扱われる現在は、無駄な材を出さないことには、意義があることであるといえる。

D) 現実的に実現可能性のあるモデルの比較

CASE1

まず、柱以外の部材が歩留まり良くとれる木取り寸法から取られている事例Uをもとに、柱以外の歩留まりを80%としたモデルを作成した。

これをCASE1とする。

それらと、事例S（天然乾燥標準モデル）とU'（事例Uの歩留まりの人工乾燥モデル）を比較した。

その結果は、以下の通りである。

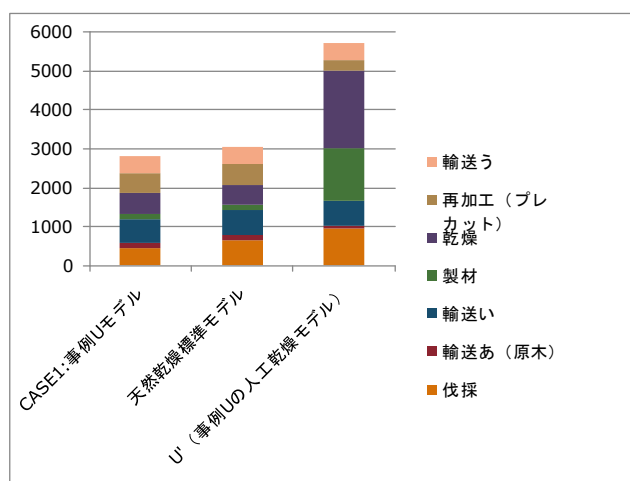


図 4.2.5 : CASE1 と比較対象の1棟当たりのCO2 排出量

CASE1 と標準の天然乾燥モデルを比較すると、伐採時に少し差出ているが、これは計算上であるので実際の伐採作業を考慮すると、ほぼ変わらないと考えられる。

CASE2

次に、天然乾燥の難しいひき角材のみを人工乾燥材にし、その他の材を天然乾燥材した場合を想定した。プレカット工場から建設現場までの輸送距離は200 kmとした。

CASE3

さらに、地域材の強度が弱く、構造材のみ外材使用し、その他の材を地域材にした場合を想定した。地域材のプレカット工場から建設現場までの距離を50 km、外材を200 kmとした。

以上、本項で想定した全モデルとその結果を、次に示す。

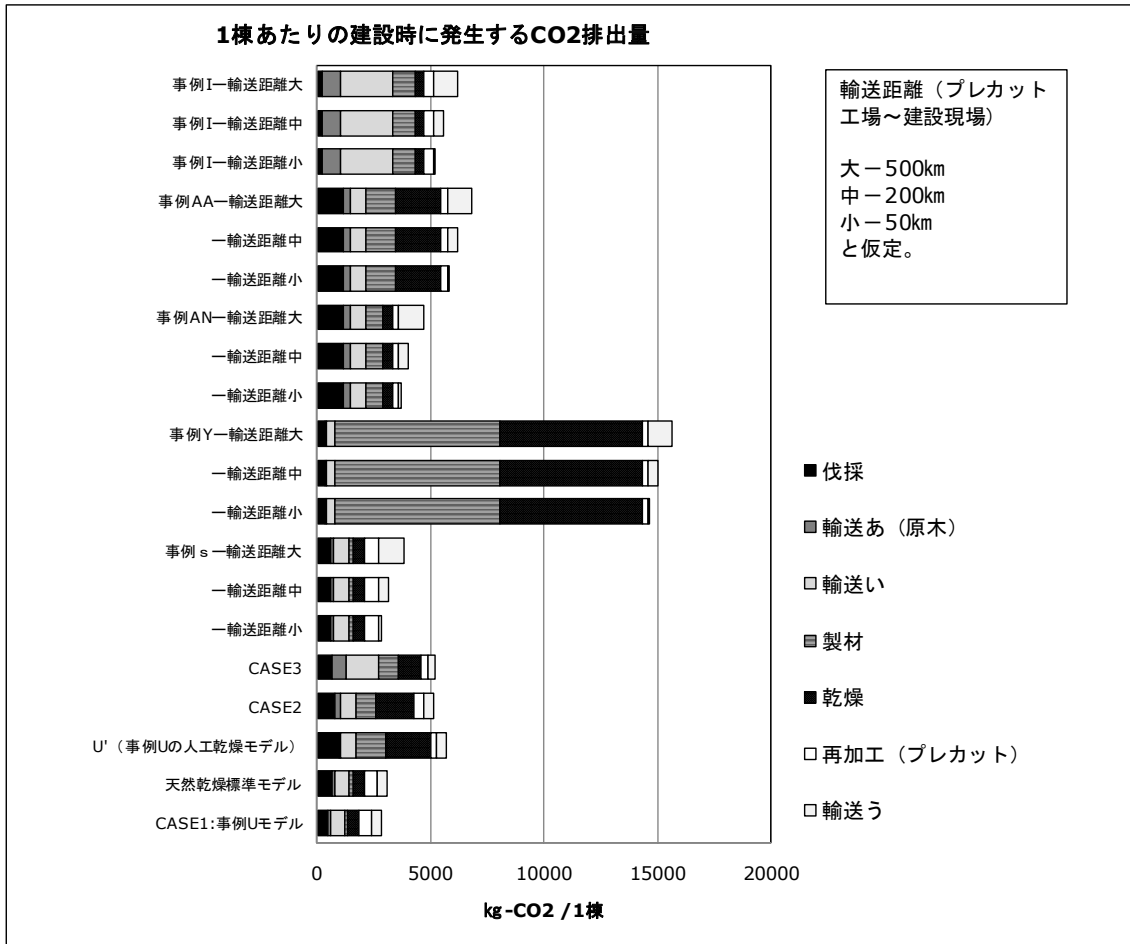


図 4.2.6 : 全モデルの一覧

【まとめ】

天然乾燥材の選択が、環境負荷軽減性に貢献していると言える。ただし、天然乾燥材の選定による環境負荷低減性は大きいが、天然乾燥材は常時使用していかないと山側にとっては、二度、山に入らないといけないので非効率的である。

事例S、事例U、事例MSの共通点は、安定消費性の表からわかるように、見込み生産し易いように、設計ルールを設定し、材の寸法の種類を減らしている。天然乾燥材は、1年以上乾燥に時間がかかるため、在庫管理も重要である。

つまり、合理化された住宅設計ほど天然乾燥材は選択しやすく、環境負荷低減性に貢献できるのだが、現状、天然乾燥材を生産している川上側の業者が少ないことなどから、顕在化していない。事例Uは、事例S、事例MSとの相違点として、在庫がはけていくよう

に住宅全体の部材の寸法統一をしていた。それは、在庫を自分たちで管理していることと、小規模な生産であるため、事例Sのように在庫を管理しておくだけの土地の確保と維持が難しいからであった。

天然乾燥材を使用する場合、在庫を製材所で管理してもらうか、設計者側が在庫を管理するかも設計時の留意点が異なってくるといえる。

輸入型の事例Iで輸送距離が大きいものは、人工乾燥材で輸送距離が小さいものは、さほど変わらなかったり、天然乾燥材でも輸送距離が大きくなると、木質バイオマスによる人工乾燥で輸送距離が小さいものとあまりかわらなかったりと、都心部で環境に優しいからといって、遠くから天然乾燥材を運んでくることは本末転倒になってしまうことがあることが分かった。

地産地消型が必ずしも環境に優しいわけではないことを、木造住宅生産に関わる人たちは気に留めておくべきである。

設計者が環境負荷低減性を考慮して材の選定を行う際、その材がどこで伐採されたものなのか、乾燥方法やその生産規模などに留意する必要がある。

しかし、製造時の環境負荷低減性は、設計者だけでは実現するのは難しく、他の業態の努力も重要である。

4-3-2 小結

資源循環に必要な性能である「資源有効利用性」「長寿命性」「汎用循環性」「安定消費性」「無偏向性」「環境負荷低減性」を、全て完璧に考慮することは難しい。全部を満たそうとすることが必ずしも最適解ではなく、設計業態の規模や性質によって、考慮のしやすいものと考慮しづらいもの、考慮できるはずだが現状として顕在化していないものなどがある。

おそらく、業態ごとに資源循環の性能の担うべきところが異なるのではないかと考える。事例から設計タイプを分類すると「川上をマネジメントしながら住宅生産を行う業態」「川上側へある指定するなど干渉しながら住宅生産を行う業態」「川上側の体制を受け入れて、あるものを選択する形で住宅生産を行う業態」があった。

本節の分析から、それぞれの設計タイプで資源循環を意図した木造住宅の設計には、考慮する点や可能なことが異なることが考えられる。それを踏まえ、次節で設計タイプ別の資源循環性の分析を事項でS行う。

4-4 設計タイプ別の資源循環性の分析

本節では、設計タイプ別にどのように資源循環性を実現できるかを分析していく。

対象とした設計者タイプは、生産規模と、設計者と川上側と関係から分類した。以下の表に、対象事例とタイプを示す。

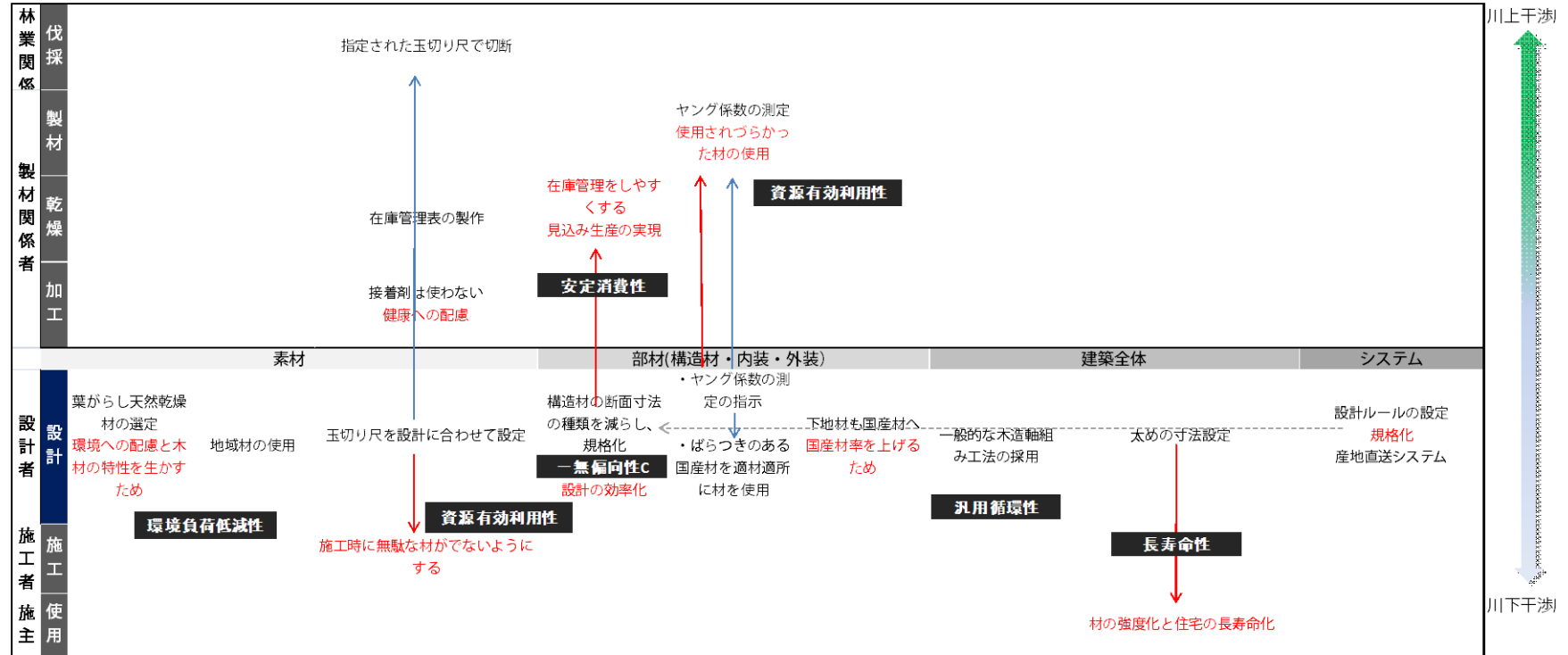
		設計者と川上との関係		
		川上干渉型		川上受入選択型
		川上マネジメント型		
生産規模	量産型	事例SR	事例S	事例D
	小規模型	—	事例U	事例MS

図 4.3.1 : 事例タイプの分類

これらのタイプごとに、【川上のマネジメントの分析】、【川上を干渉・配慮の分析】【生産規模での分析】、【川上受入選択型の分析】【設計者と利害関係者の役割の分析】をもとに資源循環を意図した木造住宅の設計行為について考察していく。

縦軸に事例に木造住宅の利害関係者と木材が伐採されてから施工されるまでのフローをとって横軸は、素材レベル・部材レベル・建築全体レベル・システムの 4 段階にわけ、設計者の列に、各段階での設計時の決定事項や取り組みを示している。

■ 事例S (川上干渉量産型)



縦軸の段階での配慮項目

縦軸の業態もしくは、段階に対して意図したこと

二次作用

→ 配慮項目により行われる業務

→ 配慮項目により意図されたこと

考察による資源循環の性能

聞き取り調査より配慮されていた資源循環の性能

設計考慮と資源循環性のまとめ (事例S)

図 4.3.1 設計考慮と資源循環性のまとめ(事例 S)

【川上へ干渉・考慮による資源循環性の分析】

事例Sの川上への干渉は、玉切り指定である。

原木を直接購入にしているため、原木発注時に設計にあわせて玉切り尺を指定している。工務店Sでは、もともと市場寸法の原木を購入していたのだが、そうすると限られた寸法から必要寸法より大きめの材を購入しなくてはならず、無駄な材が発生してしまっていた。これは、原木の歩留まりが悪く、会社経営的にも合理的でなかった。そこで、規定の設計に必要な分だけの原木を購入するために、直接原木を林業家から購入し、玉切り指定をするようになり、これは無駄な材を出さないという意味で資源の有効利用に繋がっている。

このように設計者が山へ干渉することで、上記のような資源循環性の性能を実現している。

また、構造材に使用しづらいとされている杉材構造材に使用可能にしているのは、材のヤング率を一つ一つ測定しているからである。ヤング率の高いものは構造材へ使用し、強度のあまり必要のないところへヤング率の低い材を使用し、適材適所に材を動かしている。構造材に使用する材の寸法の種類を少量化していることで、このようなことが行い易くなっていると考えられる。

小規模経営者の多い川上側も見込み生産ができること（定番の材があること）で、業務の安定に繋がる。これらは、木材の安定消費性に繋がっていて、設計段階での考慮によるところが大きい。

環境負荷低減性の高い天然乾燥材を設計主体が管理しながら住宅生産を行うには、設計段階で、見込み生産をしやすくする工夫が大切であるといえる。

山への干渉は、大手ハウスメーカーのような大規模な業態でない限り、都心の小規模住宅生産者の川上への干渉は難しく、林業関係者と設計主体が地理的に近いほうがよいと考えられる。そういった意味で、いわゆる地産地消は、輸送による環境負荷が少ないことだけでなく、干渉することでの資源有効利用性という資源循環の性能を発揮しやすいと意味で評価できるのではないだろうか。逆を言えば、遠くの山の木材では難しく、無偏向性には劣る。

【供給規模による資源循環性の分析】

事例Sは、環境負荷の極めて少ない天然乾燥材を使用した住宅を量産し、地域に供給している点で、環境負荷低減性と安定消費性の評価が大きい。素材の選定にあたって、環境負荷の少ない天然乾燥材・国産材の使用を徹底している。そのため、伐採してから納品までに1年以上係る天然乾燥材の量産型の住宅生産を可能にするために、設計段階での川上側への配慮が大きい。

部材レベルでは、設計ルールの設定や、断面寸法の種類を減らすなど、部材の見込み生産の行い易さに重点に置かれている。天然乾燥材の場合、受注してから伐採しては、時間がかかりすぎてしまうことから、見込み生産をしなければ、一定量の住宅供給はできない。

これらの取り組みは、一年以上を天然乾燥させている間は自社で大量の在庫を持つことになるため、在庫管理の行い易さへの配慮も伴っている。在庫管理も材種と寸法別に、月間での使用量、乾燥期間、ストックヤードごとの在庫数、発注数を細かく管理していることで、環境負荷の少ない天然乾燥材の流通を円滑にしている。設計主体が在庫管理まで行うとスムーズな材の調達が行い易いだろう。これは、量産すると自然と山へ干渉せざるを得なくなることが考察される。

材の寸法の種類を減らす取り組みについて、ここで他事例と比較をすると、事例 S は、事例 U (全 6 種) や事例 D (構造材羽柄材で 9 種)、事例 M (?) に比べると、構造材のみで 9 種で羽柄材は 12 種とそれほど種類は減らしていない。これは、量産型であるため、種類はそこまで減らさなくても一つ一つ量があるため、川上側も効率的な生産がしやすいからだと考えられる。

つまり、量産する場合は、1 木造住宅生産者の規格において、寸法の種類を減らさなくても資源循環を配慮できると捉えられる。

また、住宅としての強度と長寿命性を保つために、太め材の設定を行っているが、これは、無垢材であることと・地域の木が太いものが多いという地域性を加味した条件による。他事例を見ると、特別な金物により強度を高めているものもあるが、ここで考察すると、量産型では、施工方法が従来とは変わる金物の導入は、大がかりな作業となる。そのため、従来型の工法でいかに強度を上げるかという設計の傾向がみられるのではないだろうか。

【設計者と利害関係者の役割】

事例 S の設計が一般的な木造軸組み工法での住宅であるのにも関わらず、玉切り指定を行うのは、山側の玉切り尺の決定が、川下側の需要を考慮していないため、通し柱には長さが足りなかったり、長すぎたりする長さが多かったためである。つまり、川上側も川下の需要に敏感になるべきで、資源循環には、設計者だけでなく山の努力も必要であることがわかる。

尚、市場品と異なる尺に切るとは、林業関係者にとって、手間であり、一定量発注してもらおうほうが、効率的な作業が行えることも設計側は考慮するべきである。

梁材に関してはヤング率の測定を行うことで、ばらつきが国産材の適材適所に使用可能にし、使用されづらかった材の使用用途を広げている。これは、製材所が自ら測定を行えば、設計者側もそれらを考慮した設計を行い易く、材の使用価値を上げやすくなる（資源有効利用性）とも捉えられる。

—まとめ—

事例 S は、環境負荷の極めて少ない天然乾燥材を使用した住宅を量産し、地域に供給している点で、環境負荷低減性と安定消費性の評価が大きい。

木造住宅生産者が山へ干渉することで、上記のような資源循環性の性能を実現していた。

環境負荷低減性の高い天然乾燥材を設計主体が管理しながら住宅生産を行うには、設計段階で、見込み生産をしやすい工夫が大切であるといえる。

他事例では、見込み生産をしやすいために、構造材のみで構造材・羽柄材で6から9種類にそろえていたが、事例Sは一般的なものより少ないとはいえ、構造材のみで9種類で羽柄材においては12種類と多い。

これは、量産しているため、種類はそこまで減らさなくても、一つ一つ量があるため効率的な生産が行える。量産する場合は、1木造住宅生産者の規格において、寸法の種類を減らさなくても、資源循環を配慮できると捉えられる。逆に材の選択肢が増えるとも言える。

このような、量産型木造住宅生産を安定させるには、在庫管理も重要である。事例Sは、山をマネジメントしているため、在庫管理も徹底している。

山への干渉やマネジメントは、大手ハウスメーカーのような大規模な業態でない限り、都心の小規模住宅生産者の川上への干渉は難しく、林業関係者と設計主体が地理的に近いほうがよいと考えられる。そういった意味で、いわゆる地産地消は、輸送による環境負荷が少ないことだけでなく、干渉することでの資源有効利用性という資源循環の性能を發揮しやすいと意味で評価できるのではないだろうか。逆を言えば、遠くの山の木材では難しいこともここで述べておく。

事例Sは、川上から川下まで木造住宅生産者がマネジメントしているので、設計者とその利害関係者の区別が顕在化していないが、同様の取り組みを設計事務所が行う場合を想定して考察すると、林業家が川下側の需要をもっと知ることや、製材所はヤング率の測定など材の品質を可視化していくことで、現状よりも資源循環を考慮しやすい環境が生まれる可能性が出てくるといえる。

■ 事例U (川上干涉小規模型)

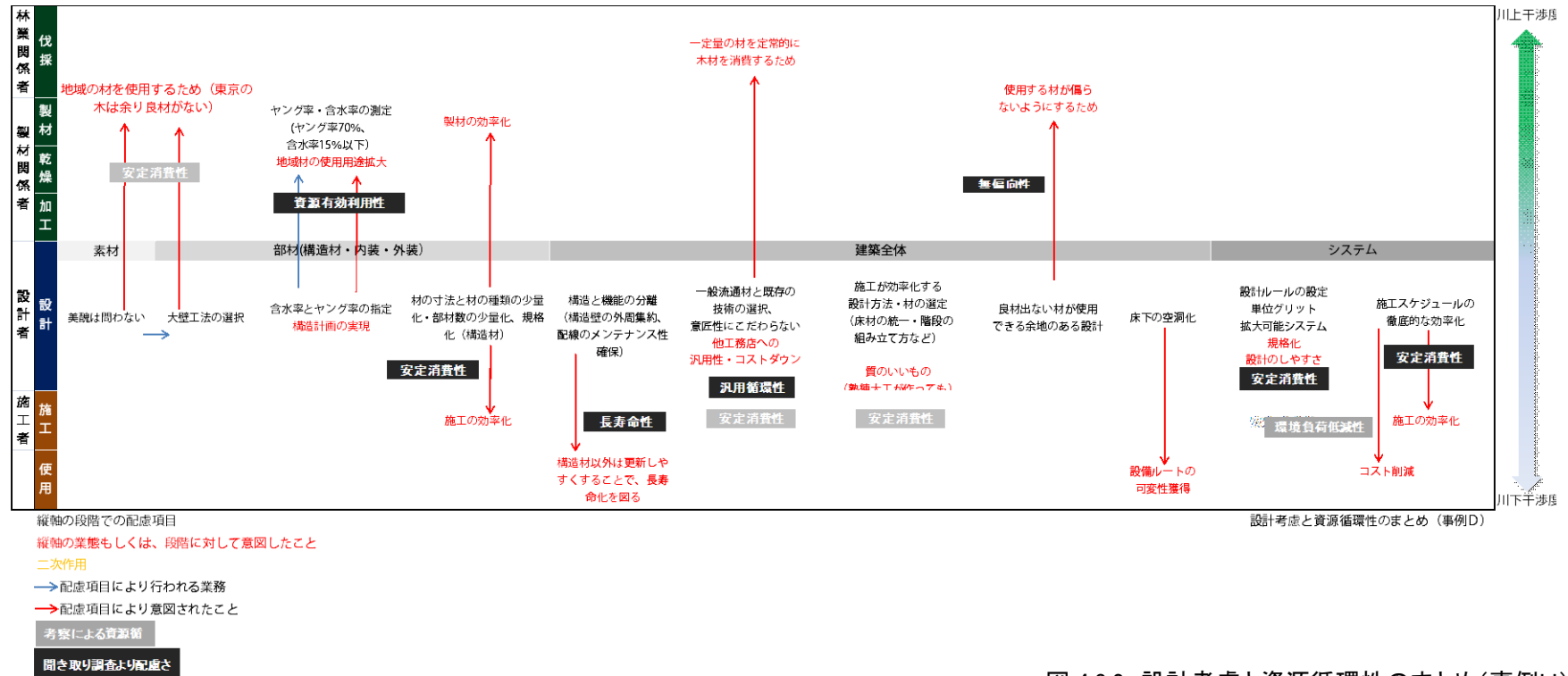


図 4.3.2 設計考慮と資源循環性のため(事例U)

事例Uは、天然乾燥材を使用した住宅を年間3棟～4棟程度で小規模に行っている。そのため、住宅生産の合理化に重点を置かれた提案で、住宅設計もそれらに影響されたものとなっている。この事例は、住宅生産の合理化が資源循環の性能に繋がっているところが多い。

【川上へ干渉・考慮による資源循環性の分析】

この事例の山への干渉は、玉切り尺の指定・木取りの指定である。山への配慮は、偏りのない木材使用・見込み生産のし易さ・歩留まりの良い木取りである。

それらを実現するための設計時の配慮である、設計ルールの設定、構造材の断面寸法の種類の少量化や玉切り尺の指定などは、他事例とも共通しているが、住宅全体の部材（構造材以外の壁パネルや建具などの部材まで）の寸法を数種類に統一している点や、設計者が木取り図の作成まで行っている点、寸法決定の理由が、山にたくさんある断面寸法の木から木取りできる部材の寸法であること、原木を無駄なく使用できる「歩留まりよい木取り」ができる材の寸法であること、施工の効率化が図れること（川上への配慮）、であることが大きく異なる。

「歩留まりがよい木取り」から発生した材は、壁パネルや建具に使われていて、歩留まりよい寸法と住宅設計が精通しているといえる。

つまり、「なるべく少ない原木数で住宅を効率的に建てる」ための設計の工夫を行っている。これは、本論での資源循環の性能である「安定消費性」と「資源有効利用性」を実現しているといえる。

このように設計者が川上へ干渉することで、上のような資源循環性の性能を実現している。ただし、この設計者が「なるべく少ない原木数で住宅を効率的に建てる」ことに至った理由は、資源循環への考慮ではなく、会社経営の考慮であった。設計者が直接原木を購入しているため、原木を無駄に使用しないことは、会社経営の考慮として自然なことである。

【供給規模による資源循環性の分析】

素材の選定において、環境負荷の少ない葉がらし乾燥材で天然乾燥された材を選定しているが、事例Uの場合、年間3、4棟の小規模生産であるため、同様に葉がらし乾燥材で天然乾燥された材を選定していて量産している事例Sのように、天然乾燥させながら大量の在庫を持つことは財力的に難しい。それ故、事例Uでは、住宅の各部位の寸法を数種類に統一することで、材の転用を可能にし、なるべく在庫を持たない状態を保っている。これは、例え設計業態が在庫を管理する必要がなくても、小規模な生産者が、一定量の住宅生産をしやすくしていると言え、本論の安定消費性として捉えられ、天然乾燥材へ選択肢を

広げている。

部材レベルでは、自社の工房で壁のパネル化やオリジナルの金物開発を行っていて、それらの取り組みが、資源有効利用性や安定消費性・長寿命性に繋がっている。

しかし、従来型の木造軸組み工法と施工時に異なる点があるため、小規模な住宅生産や、新規で始める住宅生産でないと導入が難しいと考えられる。その理由としては、聞き取り調査で分かった「新しい施工方法は効率的でも、大工は慣れた仕事のほうを好むため、嫌がられやすい。」「量産型の生産で、規格の変更など工場の生産ラインの変更を伴うことは大がかりであるため、行いづらい。」という事実を踏まえると、量産型の住宅生産者にとっては、資源循環性を高める特殊な金物の導入やそれに伴った加工方法の変更などは、導入しづらいと予想される。

【設計者と利害関係者の役割】

事例 U も事例 S 同様、玉切り尺を指定している理由同じであることから、やはり、川上側の需要への意識を高めることが重要であるといえる。

—まとめ—

事例 U は、天然乾燥材を使用した住宅を小規模に生産しているため、住宅生産の合理化に重点を置かれた提案で、住宅設計もそれらに影響されたものとなっている。そして、住宅生産の合理化が資源循環の性能に寄与しているところが多い。

この事例の川上への干渉・配慮の仕方を考えると、設計者が山のことを配慮して住宅を建てる極端な事例として見てとれる。

注目すべきは、設計者が川上側の利益になるよう歩留まりのよい木取り図まで作成し、その木取り寸法が住宅の寸法に精通していることである。川下側がその寸法の材を事例 U のように確実に規格化していることは、その材が消費されていくことを川上側は見込むことができるのである。

資源循環を意図して設計を行う場合、小規模な業態は、一社だけでなく、複数会社にわたってある規模で、寸法を統一するなど、歩留まりをあげることを考慮した寸法決定をすることで、資源循環性が発揮されやすくなるのではないか。

また、住宅の各部位の寸法を数種類に統一しているのは、見込み生産をしやすくするためと、材の転用を可能にし、なるべく在庫を持たない状態を保つためであった。

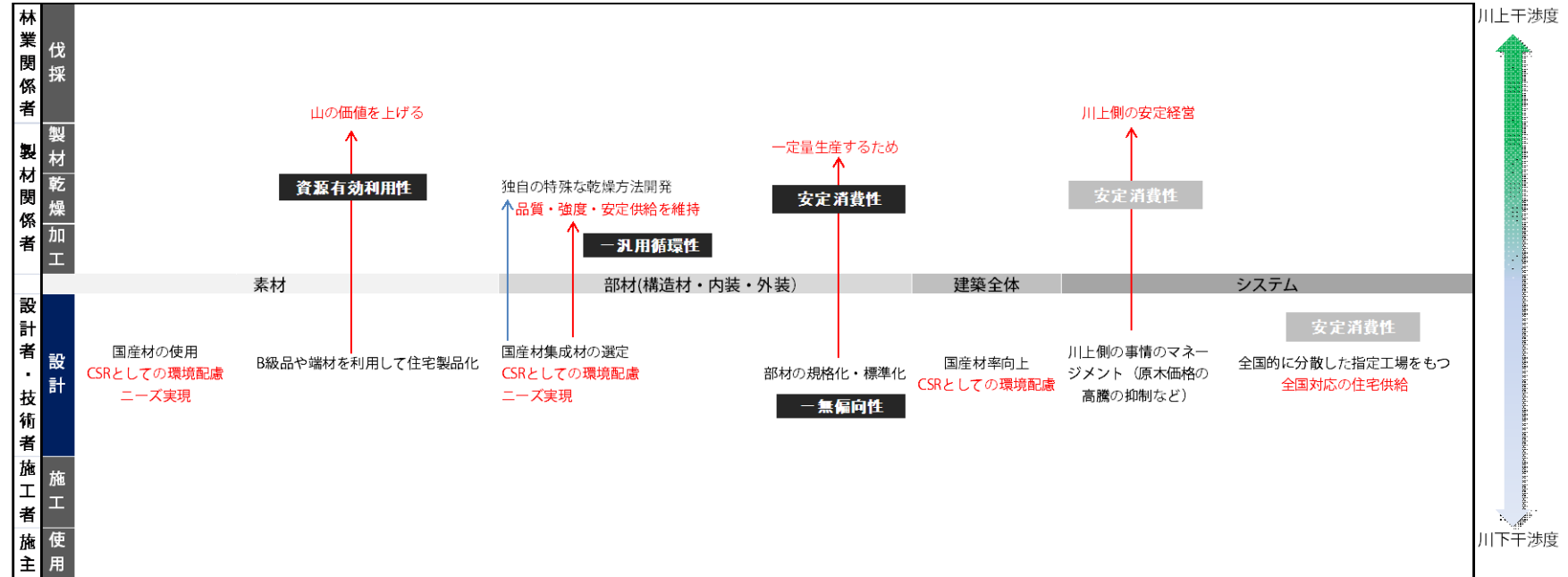
これは、例え川下側の設計主体が在庫を持たなくても、小規模な生産者が、見込み生産をし易くなり、一定量の住宅生産をしやすくするための工夫と言え、本論の安定消費性として捉えられる。また、環境に優しい材の選択として、天然乾燥材へ選択肢を広げている。

部材レベルでは、自社の工房で壁のパネル化やオリジナルの金物開発を行っていて、それらの取り組みが、資源有効利用性や安定消費性・長寿命性に繋がっている。このように一工夫された金物の使用など、生産工程に変化がある取り組みは、従来型の木造軸組み工

法と施工時に異なる点があるため、大規模な業態には導入が難しいと考えられる。

一方、地域の工務店など小中規模の業態には、それに比べると導入しやすく、資源循環を実現するためのひとつの手段となりうるだろう。

事例 S R (川上マネージメント型)



縦軸の段階での配慮項目

縦軸の業態もしくは、段階に対して意図したこと

二次作用

→ 配慮項目により行われる業務

→ 配慮項目により意図されたこと

考察による資源循環の性能

聞き取り調査より配慮されていた資源循環の性能

設計考慮と資源循環性のまとめ (事例 S R)

図 4.3.3 設計考慮と資源循環性のまとめ(事例 SR)

【川上への干渉・考慮・マネージメントの分析】

事例SRの川上への干渉は、自社独自の乾燥方法の指定で、川上への考慮は、山の価値の向上である。

それらの実現できるのは、大手ハウスメーカーの事例SRが、古くからの全国の川上側のネットワークを活かしながら、プレカット工場、集成材工場、製材所に至るまで自社指定の工場があり、専属工場ではないが、大きいものから小さい工場までをマネージメントしながら生産を行っているところが大きい。

事例SRは、川上をマネージメントすることで、自社独自の乾燥方法で乾燥され、集成材となったものを大量に調達することを可能にしている。この自社独自の乾燥方法に至ったのは、品質にばらつきの多い国産材を使用するためである。集成材の資材となるのは、山の無垢材などには使用されづらい曲がり材などのB級品である。また、製材時に発生した端材も資材となる住宅部材の開発も行っていた。

このように、先進技術を使用しながら、以前は不良材であったものに付加価値をつけた材料を大量に調達できるのは、全国的に広がっている川上のネットワークとマネージメント力であるといえる。

つまり、川上をマネージメントしていることで、資源有効利用性と安定消費性を実現しているのである。

【生産規模での分析】

事例SRは、その業態の性質上、一定量の生産が見込めることと、規格化した住宅を建設するので、材の改良や開発を行いやすいことから、安定消費性は発揮しやすい。ただ、集成材の場合を考えると、集成材製造には無垢材よりもエネルギー消費は大きいことは確実で、環境負荷低減の面では、少し劣る部分もある。

しかし、その見込み生産力と経済力と川上へのネットワークから、天然乾燥材の選択への可能性は薄くないと思われる。

また、一定規格のものを一定量必要とするため、事例Uのように山の寸法に合わせた寸法決定などは行いづらいといえる。

【設計者と利害関係者の役割の分析】

事例SRからは、木造住宅生産において、川下から川上までネットワークにより繋がっていることで、資源循環性の高い取り組みをおこなっていることが分かった。

—まとめ—

事例SRは、全国的な川上側のネットワークとマネージメント、開発技術により、山の未利用材の消費や価値向上に貢献している。

しかし、事例SRは、接着剤を使用して固める集成材を製造が主で、集成材は曲がり材や径の細い材料など無垢材になりにくいものが原料となる。現状としては、山の未利用材が不足なくあることから問題視されていないが、仮に未利用材がなくなってしまったときに、無垢材として使用できる良い材料までが集成材化しかねないだろう。これは、木材が段階的に有効利用されていく資源循環性を考えるとよいこととは言い難い。

一方、無垢材の住宅も、稀ではあるが、数件請け負っていた。寸法安定性、強度などを考えると、現状集成材にメリットが大きいことは確かだが、このような大きな業態が、無垢材を集成材と同棟に使用することで、資源循環性は高まるのではないか。

また、その見込み生産力と経済力と川上へのネットワークから、天然乾燥材の選択への可能性は薄くないと思われる。

事例SRは、大規模であることで先進的な取り組みを成功させているが、一定規格のものを一定量必要とするため、事例Uのように山の寸法に合わせた寸法決定など、地域性までの細かな考慮は行いづらいといえる。

■ 事例D (川上受入型)

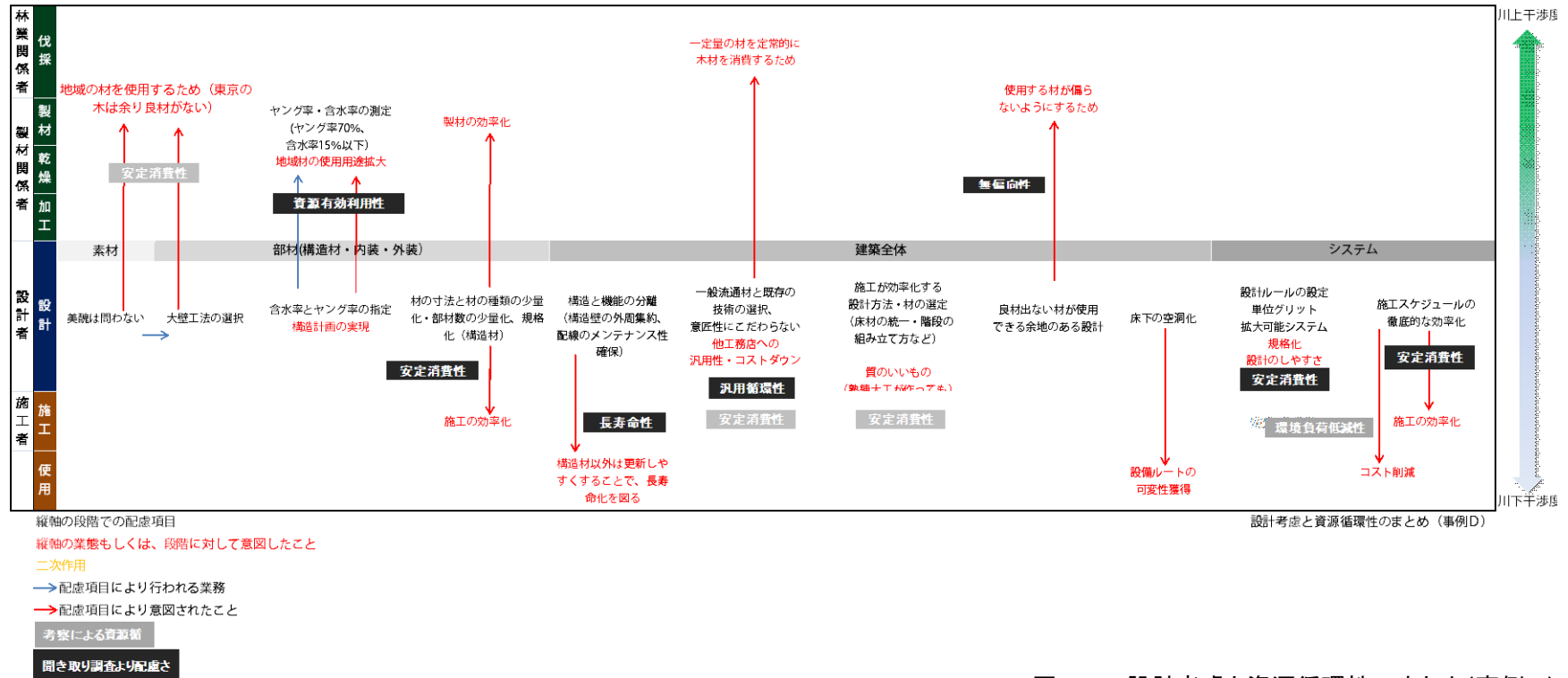


図 4.3.4 設計考慮と資源循環性のまとめ(事例 D)

事例Dは、提案時には製材所側にヤング率の指定などを行っているが、寸法規格については一般流通材としているため、定められた性能を持つ材が調達できればよいと捉えられるので、川上へは干渉せず、川上受入型とする。

【川上への配慮の分析】

事例Dは、川上の干渉はなく、川上への配慮は、材を偏りなく定常的に使用すること（安定消費性）、杉材の使用用途の拡大（資源有効利用性）、（製材の効率化）である。

それらの実現のために、設計段階で、素材の選択においては、一般流通材であること、ヤング率の指定、美醜は問わないこと、そのため良材ではない材が使用できる余地のある設計を行っている。

部材レベルでは、設計ルールの設定や、部材寸法の少量化をしている。

建築全体では、設計コンセプトとして「安くていい住宅」が条件におかれていたことと、他工務店でも可能な汎用性のある設計を意図していたため（汎用循環性）、一般流通材と既存の技術の使用に徹底していた。そのため、普通の材と技術を使用して、長寿命性を確保するのに、構造計画で工夫がなされている。

また、材の美醜は問わないという考慮は、事例Uでも見られた。しかし、事例Uでは、材を部品化すること（壁のパネル化）が重要であったことと、施工が効率化するという点でも大壁ではなく、真壁工法にあえてこだわっていたのに対して、事例Dも住宅を安価に抑えるため、施工の効率化には徹底しているのにも関わらず、きれいな材が少ない東京の木を使用するために当初真壁工法であったものを大壁工法に変更して、施工を効率化して安くいい住宅を実現している。事例Dが、大壁工法でも施工の効率化を図れたのは、工期の短縮に徹底した施工スケジュールの組み方にあるといえる。

つまり、事例Dでは、施工スケジュールの合理化が、安定消費性（施工の効率化）に繋がっているといえる。

事例Dは、山へ干渉することなく規定の材を調達して資源循環を意図した設計として捉えられる。

ただし、一般流通材を使用しているので、部材を必要なものより大きめのものを選んでいて、無駄な材は施工現場で発生しやすいこともあるだろう。これ事例は、設計者が山へ玉切り尺を指定することで、さらに資源循環性は高くなるといえる。

【生産規模での分析】

事例 D は、施工時に複数という一緒に建てることで、人件費を削減し、低価格の住宅の実現に成功していた。つまり、この事例は、あるまとまった単位で複数住宅を建てる際に、安定消費性を発揮できるといえる。

【川上を受け入れの分析】

【川上への配慮の分析】と重複する内容になるが、事例 D は、木造住宅生産者が山へ干渉することなく規定の材を調達しながら、資源循環性を発揮している設計として捉えられる。この事例では、地域材を使用しているが、本質的には、材の産地に限定されることなく同質の住宅が実現可能で、汎用性が高い。逆を言えば、外材でもどこの材でも規定の強度と寸法を満たしていればよいということである。

そのことを踏まえて、川上へ干渉しない資源循環を意図した設計を考察すると、設計者は材の選定において、材の産地や輸送距離、乾燥方法なども考慮に入れることが大切なのではないだろうか。

【設計者と利害関係者の役割の分析】

事例 S と同様、事例 D では、杉の構造材への適応を実現するために、構造材に関して、ヤング率を指定している。つまり、製材所が材の質を可視化させていくことで、材の使用用途の広がりを使いわけが可能になって、資源有効利用性と安定消費性が発揮されやすくなるのではないか。

工期を大幅に短縮していることで資源循環性を高めていることもこの事例の特徴である。施工スケジュールの管理は設計者だけでは難しく、資源循環には、施工を請け負う業態と設計者の協力も重要だと言える。

また、設計者が材の産地や乾燥方法、輸送距離を把握するために、製材所や材木屋は、材の属性を記す必要があるだろう。

—まとめ—

事例 D は、川上の干渉はなく、川上への配慮は、材を偏りなく定常的に使用すること（安定消費性）、杉材の使用用途の拡大（資源有効利用性）、（製材の効率化）である。

それらの実現のために、設計段階で、素材の選択においては、一般流通材であること、ヤング率の指定、美醜は問わないこと、そのため良材ではない材が使用できる余地のある設計を行っている。

部材レベルでは、設計ルールの設定や、部材寸法の少量化をしている。

建築全体では、設計コンセプトとして「安くていい住宅」が条件におかれていたことと、他工務店でも可能な汎用性のある設計を意図していたため（汎用循環性）、一般流通材と既存の技術の使用に徹底していた。そのため、普通の材と技術を使用して、長寿命性を確保

するのに、構造計画で工夫がなされている。

事例Dでは、施工スケジュールの合理化が、安定消費性（施工の効率化）に繋がっているといえる。

事例Dは、山へ干渉することなく規定の材を調達して資源循環を意図した設計として捉えられる。

ただし、一般流通材を使用しているので、部材を必要なものより大きめのものを選んでいて、無駄な材は施工現場で発生しやすいこともあるだろう。これ事例は、設計者が山へ玉切り尺を指定することで、さらに資源循環性は高くなるといえる。

そのことを踏まえて、川上へ干渉しない資源循環を意図した設計を考察すると、設計者は材の選定において、材の産地や輸送距離、乾燥方法なども考慮に入れることが大切なのではないだろうか。

■事例MS (川上受入型)

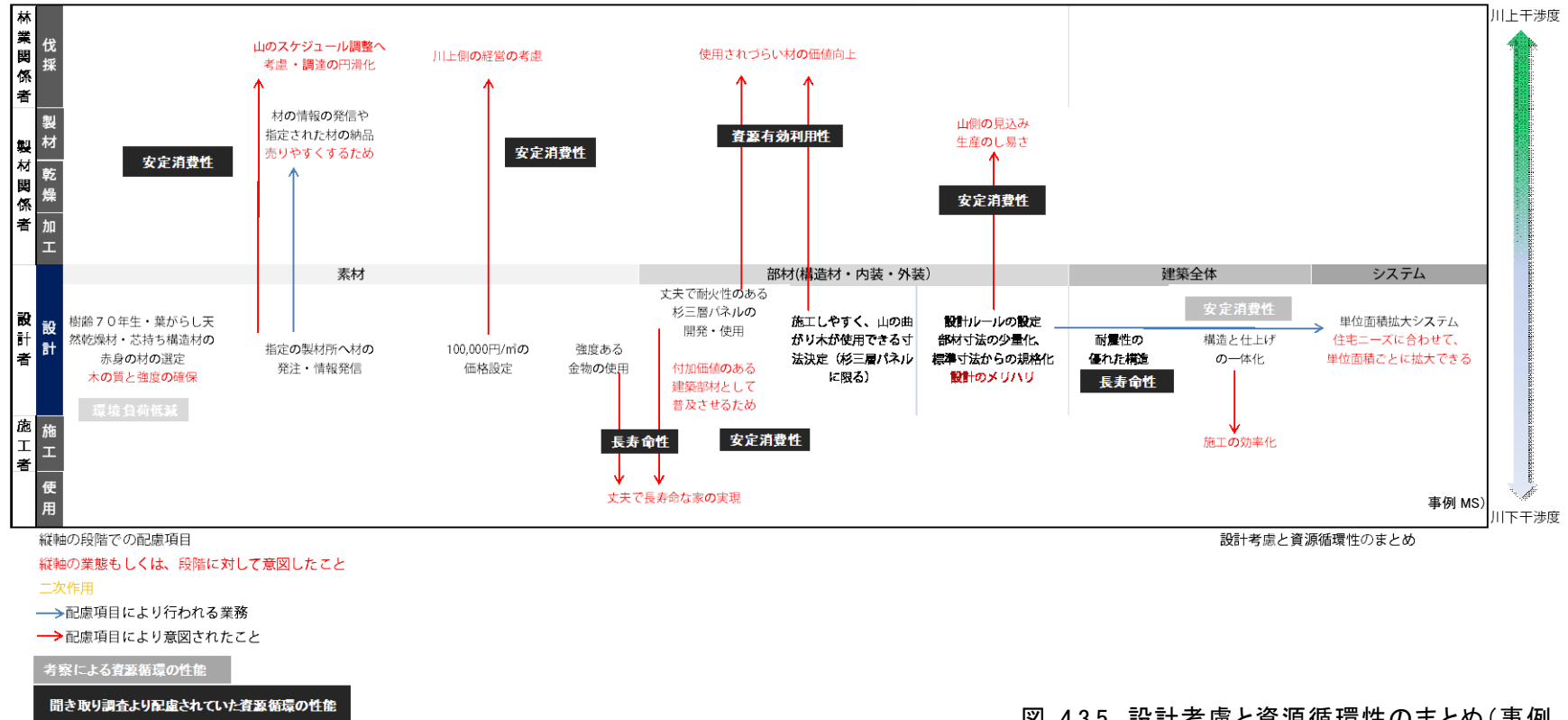


図 4.3.5 設計考慮と資源循環性のまとめ(事例 MS)

事例MSは、設計者が良い材をより集めて設計されている設計事務所らしい提案である。環境負荷の少ない葉がらし乾燥材で天然乾燥材を使用しているが、一番の選定理由は、その質であり、環境的メリットは二次的価値である。

【川上を配慮の分析】

事例MSの川上への配慮は、見込み生産のしやすさと山のスケジュールの調整のしやすさ、不良材の価値向上である。

その実現のために、他事例同様、設計ルールの設定と材の規格化（定番の材をつくる）をおこなっていた。事例MSは、指定の製材所から材を直接購入しているため、製材所には、事例MSのストックされている。

指定の製材所との情報交換を頻繁におこなっているため、山側で在庫している材の状況や、伐採された材の情報が入ってきやすく、また山側も川下側の需要情報が入ってくるので、規格寸法以外の材も、容易し易いとのことであった。

この点で、同様に川上へ干渉することなく住宅生産を行っている事例Dと比べると、事例MSの場合、設計者が情報を発信することで、使用できる材が広がっているといえる。川上側で余ってしまっている材を使用することにも繋がるだろう。

また、杉三層パネルという使用されづらい山の小径木を資材とした住宅部材で、壁床天井に使用でき、仕上げ材としてそのまま使用できる万能な材の事例MSでは製材所と共同開発を行っていた。そして、それを使用した住宅の提案し、広報活動も行っている。どんなに、良い材料でも使用する人がいなかったり、使用方法を教える人がいなければ、資源循環に繋がらない。その意味で、設計者は材の様々な使用方法を提案し、広めていく役割を担っており、それが成功することで資源循環性が高まると言える。

事例MSは、川上に干渉せずに、情報交換をすることで、安定消費性と資源有効利用性を実現しやすくしている事例と言える。

ただし、このように川上側とコミュニケーションがとれるのは、設計者が自ら山へ足を運び、山側の事情を知っていることと、木に関する知識が豊富であるからで、そのような努力も設計者には必要であることをここで述べる。

【生産規模での分析】

事例MSは、全国的に住宅生産を行っている。そのため、部材調達から施工までが地域内で納まるとは限らず、材の輸送距離など事例Uや事例Sに比べると大きくなることもある。さらに、環境負荷の少ない天然乾燥材を使用しているが、環境に優しいとあって、遠くから天然乾燥材を調達した場合に本末転倒になりかねないことは、4-1での分析から明らかであり、資源循環を意図した設計を行う場合、意識すべき点である。ただし、事例MSの天然乾燥材の選定理由は質にあるため、住宅の質という意味では評価できることである。本論では、質は扱っていないが住宅設計には大切なことである。

【川上を受け入れの分析】

事例MSは、川上側に既にあるもの（材の品質）を選択して、住宅設計を行っているといえ、川上側を受け入れている。川上側へ干渉はしていないが、頻繁に川下側の情報を川上側へ流し、川上側のスケジュールが円滑に進むような顔が見えるコミュニケーションを行っている。

川上側を受け入れるにしても、設計者が川上側とコンタクトをとることは、資源循環性を支える一つの要素でもあるといえよう。

【設計者と利害関係者の役割の分析】

資源循環性を支える基礎として、設計者は、川上に重要情報を頻繁に流すべきであるし、川上側も山の情報を流すべきであるといえる。

—まとめ—

事例MSの川上への配慮は、見込み生産のしやすさと山のスケジュールの調整のしやすさ、不良材の価値向上である。

その実現のために、他事例同様、設計ルールの設定と材の規格化（定番の材をつくる）をおこなっていた。事例MSは、指定の製材所から材を直接購入しているため、製材所には、事例MSのストックされている。

事例MSは、川上に干渉せずに、情報交換をすることで、安定消費性と資源有効利用性を実現しやすくしている事例と言える。

設計者は材の様々な使用方法を提案し、広めていく役割を担っており、それが成功することで資源循環性が高まると言える。

事例MSは、複数関係者と住宅生産を行っているので、地域の異なる複数の山の寸法を考慮して、一設計事務所が定番をつくるのは、難しいだろう。

ここから、住宅生産の中で関係する業者数や規模によっても、資源循環性を高めるために行い易いことが異なることが分かる。

【設計タイプ別の資源循環性のまとめ】

川上干渉型の分析

川上干渉型の事例S・事例Uの取り組みから見てとれるように、川上へ干渉することで無駄なく材を調達していた。バラつきが多い国産材の場合、設計者が川上側に積極的に干渉し、川上側を配慮した寸法決定していくことで、資源有効利用性と安定消費性が高まると考えられる。

川上マネージメント型の分析

川上マネージメント型の事例SRは、バラつきが多い国産材を使用して、その部材調達力と技術力で集成材にすることで安定供給を実現していた。(安定消費性)そのため、集成材の資材である曲がり材の価格が上がるなど川上側への貢献も高いといえる。このような業態の設計変更による資源循環性への影響も大きいといえる。

少量型の分析

汎用循環性の分析から小規模に住宅生産を行う業態は、変化に柔軟な対応をしやすいことが分かった。小規模住宅生産者は、製材所に余りがちな材をうまく使用することで資源循環性を高められると考えられる。

川上受入選択型の分析

川上受入選択型の事例D・MSは、設計者が市場にある材を調達するタイプで、汎用循環性の高いと言えるが、市場品の中から大きめの材を選択するので、資源有効利用性は発揮しにくい。

まとめ

このように、設計タイプごとに資源循環の性能の担う役割が異なっていた。

全ての資源循環の性能を満たすことが必ずしも最適解にはならず、ハウスメーカーが安定消費性を発揮すれば、逆に無偏向性が劣ってしまうなど、マイナス要因を補い合うバランスが大切ではないだろうか。

それぞれの設計者は、そのバランスに意識的になる必要があるだろう。

5 章 最終章

- 5 - 1 資源循環を意図した設計行為の考慮項目
- 5 - 2 資源循環を意図した木造住宅の設計行為の展望
- 5 - 3 まとめ

5章 最終章

4章で、資源循環を意図する上で、設計時に考慮すべき事項を把握できた。
本章では、資源循環を意図した設計の一般的な考慮項目とその可能性の考察を行う。

5-1 資源循環を意図した設計の考慮項目と各主体の留意点

資源循環を意図した木造住宅を設計する場合、設計者は使用する材をライフサイクル全体で管がなければならない。

伐採、製材、乾燥、加工、施工、解体、再資源化または最終処分の各段階で、適切に資源循環していくために必要な性能が異なり、それぞれを一度に発揮することは難しい。安定消費性が満たすことが、必ずしも資源有効利用性を満たすことにはならない。

本節では、これまでの分析を踏まえ、資源循環を意図した木造住宅の設計において、設計者はどのようなことを考慮していけばよいかの一般解をまとめ、そのための設計者以外の製材業者や林業者はどのようなことをすればよいかを以下に述べる。

資源循環を意図した木造住宅の設計行為を行う際の一般的な留意点を図5.1にまとめた。設計者は、積極的に山へ介入していくべきである。設計時には材の規格化が重要であるが、寸法決定の際、あるまとまった単位で、山の木の質や大きさを考慮した歩留まりを上げる寸法決定を行うとよい。天然乾燥材を使用する場合、見込み生産できることが重要で、住宅生産を合理化がしていくことで大切である。

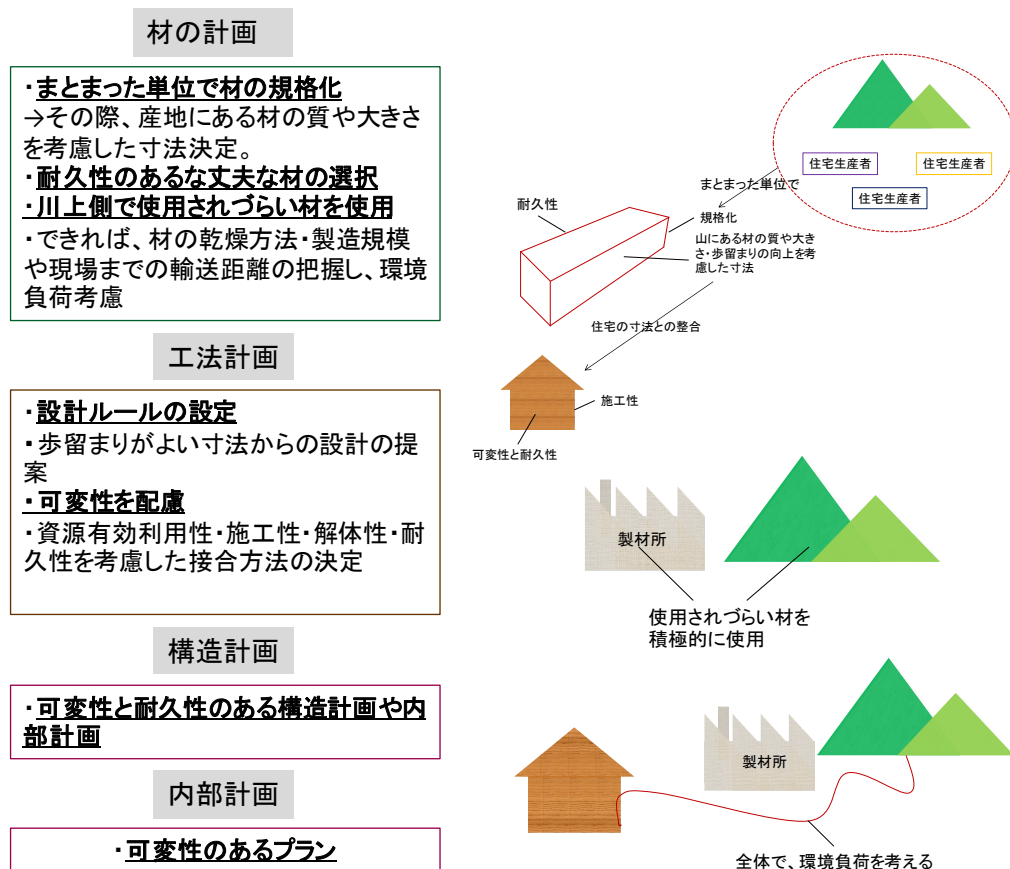


図 5.1.1：資源循環を意図した設計時の留意点のまとめ

資源循環性を高めるために、設計者と利害関係者が留意できる点と努力すべき点をまとめた図を下に示す。

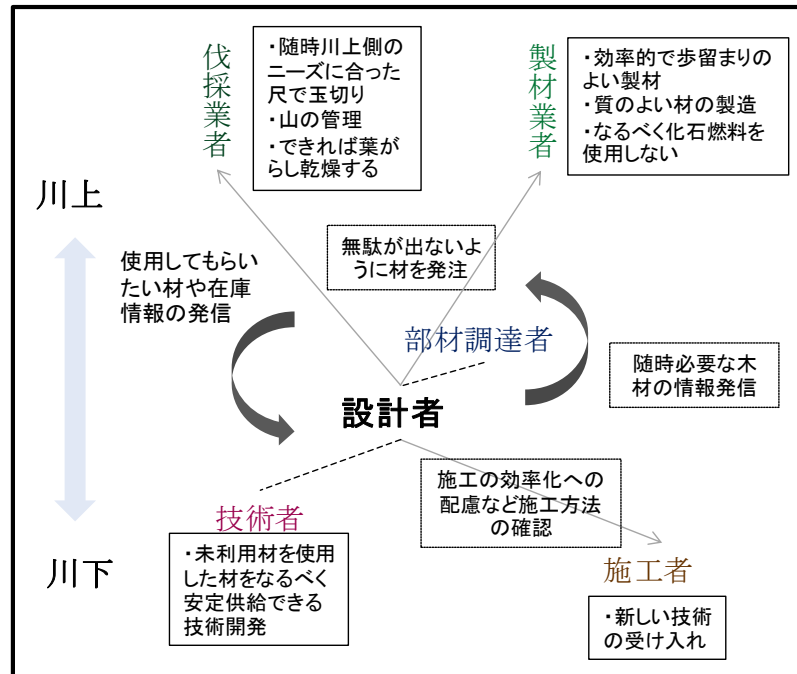


図 5.1.2 設計者と利害関係者の留意できる点と努力すべき点

設計者は、一般的に言われていることではあるが、本調査で、資源循環性を高めるためには、設計に必要な材情報を川上側へ発信していくべきであることが改めて確認できた。また、できる限り材を直接山から調達したほうがよく、それは設計に合わせて材を発注すれば、無駄な材が発生しにくいからである。さらに、規制寸法にとらわれず設計が可能であることも、メリットだと言える。

また、施工の効率化への配慮すべきで、実際のその施工方法の確認も、施工の効率化を意図するだけでなく、実現するためには必要である。

伐採業者は、玉切り寸法などを決めたものだけでなく、川下側の情報を取りながら玉切り尺の決定をしていく必要がある。

製材業者は、効率的な製材と、できる限り安定した質の材の製造をするべきである。

また、伐採業者と製材業者の両者は、川上側で余りがちな材や、使用してもらいたい材の情報を、設計者に発信していくべきである。

技術者は、未利用材を使用した材をなるべく安定供給で技術開発を行っていくべきで、施工者は、新しい工法などへの受け入れも必要である。

5-2 資源循環を意図した木造住宅の設計行為の展望

ここでは、本研究で得られた分析より、資源循環を意図した設計行為の可能性を提案する。

4章の分析から、ハウスメーカーのような一定量の見込み生産が可能で、規格化された住宅を供給する業態が、環境負荷低減性の大きい天然乾燥材を選択することは、難しくはないことが分かった。

モデル1：ハウスメーカーのような大規模な業態や、小規模な住宅生産者がまとまって、葉がらし天然乾燥材を使用する

このように、まとまった単位で、住宅生産者が天然乾燥材を使用するようになると、全国のエコ産地に天然乾燥材の市場が生まれ、流通ができる。そうすると、その流通を利用して、他の木造住宅生産者らも、天然乾燥材の選択が行い易くなると考えられる。このような取り組みは、顕在化していないが、これは、環境負荷低減性の相乗効果につながるだろう。

課題：現状、天然乾燥材を使用して、住宅を生産している木造住宅生産者は少ない。その理由は、現状天然乾燥を行っている業態が少ないことや、天然乾燥材の品質のばらつきことなどで、天然乾燥は一般的ではない。

天然乾燥材の選択が、安定的に行われるためには、明確な品質の保証が必要となってくる。

このような取り組みは、ハウスメーカーのような研究技術を持った業態や研究者は行っていくべきであろう。また、完全に天然乾燥を行うのではなく、たとえば、7割だけ天然乾燥させるだけでも、環境負荷は低減できるのではないかと考える。

次に、事例Uの特徴的な取り組みである、歩留まりのより寸法で住宅の部材寸法を決定し、それに合わせた住宅の工法を提案していた。これは、できる限り無駄なく原木を使用して、住宅生産を行う仕組みである。一方、製材業者MEの聞き取り調査では、設計事務所のような一般流通材以外の材を使用する設計者が発注する材は、普段消費されづらい材であるため、製材所にとっては、余りがちな材を消費してくれるので助かるという話があった。また、事例YのY森林組合の聞き取り調査では、大きなメーカーを取引先にするのは、リスクが高いため、小さな工務店規模の取引先に材を売りたいという話があった。

このことから、小規模生産者らの資源循環を意図したモデルを想定する。

モデル2：あるまとまった単位で、川上側を考慮した寸法で規格化を行う。

地域の工務店など小規模な木造住宅生産者らが資源循環を意図する場合、見込み生産をしやすくするための規格化や設計ルールの設定は1事業者ごとにできるが、1事業者のみで

あると規模が小さいため、川上側にとっては余りメリットがない。そこで、あるまじった小規模な木造住宅生産者同士で、規格を行い、さらにその寸法を、地域に豊富な木の寸法から歩留まりのよい取り方が可能なもので決定する。そして、その寸法から住宅設計を考える。

その取り組みが実際に行われると、木材の有効利用とともに、その寸法で設計が行われることで安定消費性も確保され、川上側の利益も返りやすくなると考えられる。

課題

現状では、材の規格化は各工務店でなされていることが多いが、一般的な標準寸法の種類は、多くそれぞれが、バラバラであることが問題でもある。材が規格化されることは、自由度が減る一面もあるが、そこをうまく解決していくのが設計者の役割ではないだろうか。

このように、資源循環を意図した住宅生産は、今後環境へ寄与する可能性がある。

5-3 まとめ

本論では、適切な資源循環に必要な性能を把握することができた。そして、それらの性能をどのように設計行為で実現できるかを明らかにした。

S造やRC造とは違い、あくまで自然物である木を使用して、住宅を生産する場合、設計者がより積極的に山へ介入していくことで、資源循環性が高まることが分かった。資源循環を意図した設計行為は、今後、環境へ寄与する可能性がある。

【参考文献リスト】

2章

参考文献1：環境省：温室効果ガス総排出量算定方法ガイドライン 排出係数一覧表, 2007.3

参考文献2：平成18年経済産業省告示66号「貨物輸送事業者に行わせる貨物の輸送に係るエネルギーの使用量の算定の方法」

既往研究1：京大大学院 清家研究室：「米代川流域エリア産学官連携促進事業 秋田スギ等地域材流通システムの構築」

既往研究5：平成20年度報告書「木質系建材の製造工程における環境負荷と評価手法」, 2009.3

既往研究6：東京大学新領域創成科学研究科修士論文「建築用木材の資源循環性とその活用方法に関する研究～木造住宅を中心とした木材のライフサイクル分析～」伊吹 美佳

既往研究7：秋田県立大学システム科学技術部環境システム学科卒業論文「秋田杉を用いた地域生産型住宅の資源・環境に関する考察」藤原奨

