

健全な林業と健全な住居を一挙に実現する

－持続可能社会への実践提案

外岡 豊

1. 社会技術研究開発の概要と目的

著者は2009年度秋から「地域に根ざした脱温暖化・環境共生社会」研究開発領域、「快適な天然素材住宅の生活と脱温暖化を「森と街」の直接連携で実現する」という社会技術研究開発研究⁽¹⁾を多数の共同研究者⁽²⁾と一っしょに行い、その後も協力して関連する研究や実践につながる活動を推進してきた。その目的は2050年に実質CO₂排出なし（これをcarbon neutral⁽³⁾と呼ぶ）で健康快適な住生活を実現させるため、国産木材を活用した省エネルギー環境優良長寿命住宅を開発し普及させ、その住生活のあり方を提示するとともに、その過程における森（林業、林産業）と街（都市の住宅建設）の連携により林業の復興を同時に達成する社会経済の仕組みを構築試行して可能性を提示することにある。

このプロジェクトでは、すでにNPO天然住宅が試行実践として先行している森と街の連携事例を題材に研究開発を行った。街側、すなわち健全な住宅の供給として、NPO天然住宅の国産木材住宅の建設、森側、すなわち林業、林産業として天然住宅に製材品を供給し仕組加工も行っている栗駒木材（宮城県栗原市）が一気通貫型の住宅供給過程を連携して行っており、その事例を題材とした実証分析と事業手法構築および普及支援策の提案に関する一連の研究を行った⁽⁴⁾。

天然住宅（例：写真1）の特徴は自然素材だけを使い超省エネルギー環境優良長寿命住宅を国産杉材を低温乾燥した無垢材（集成材、合板不使用）を用い、伝統仕組構法で建設するもので、製材所で手作業で仕組みの切り込み作業を行い、建設現場に直送して木材流通の中抜き（市場を通さず問屋の中間流通経費を削減）と輸送費用の削減を実現するとともに林業、林産業の自立経営を追求する。この全体過程がうまく成り立つことを客観確認するため以下の項目について研究開発を行った。

*住宅の温熱環境とエネルギー消費量を実測して環境性能と省エネルギー性を実証

*木材の実物大物性試験を行い低温乾燥、燻煙乾燥の効果を科学的に解明

*育林から住宅解体廃棄までの総合的なLCCO₂評価

*迅速な市場浸透を促進する住宅建設事業手法と地域展開の模索

*新しい金融システム（天然住宅バンク）の試行と提案

*環境優良住宅が適正評価される中古住宅市場形成への提案

*天然住宅の品質評価と認証制度の企画設計

*補助金に依存しない持続可能林業事業手法の模索⁽⁵⁾

*全供給過程（サプライチェーン）の総合検討－上記、諸要素全体の連携確認とそ

の改良検討

*この全過程を通じた 2050 年 Carbon Neutral 達成へのマクロシナリオ分析

この実践研究では森（栗駒木材）と街（天然住宅）の直接連携例について一例研究を行っているが、2050年の目標達成に向けては全国的な横の展開が求められる。横の展開とは天然住宅のシェアを拡大して独占的に住宅供給を行うのではなく、類似活動が全国各地にそれぞれに展開されることである。天然住宅は成長拡大志向の営利企業ではなく非営利団体であり、培われた事業手法を公開し全国に伝授、展開することを希求して活動している。本研究では全国各地の地場産木材で住宅建設を促進する諸団体、建築家、工務店、林産業者、林業家などと交流、連携にも取り組み横の展開の手法も模索している。本研究での中間時点の成果を開かれた公開 **workshop**（これをとくにラウンドテーブルと呼ぶ）を通じて多分野の関係者、類似活動実践者に提示して意見交換し、全国的な連携強化を図ることを試みた。また優良住宅の普及や林業の復興などの障害になっている諸制度の問題点と実践的な対処方法についても検討した。これらの社会実践試行とその実測検証による客観評価を通じて 2050年までの社会実践シナリオとその効果を出来る限り定量的に分析し、客観データを用いた的確な状況分析に基づき、社会実践への指針を提示することを目的に研究活動を行った。

天然住宅の事業の特徴は企業利益追求型の住宅販売が主流となっている住宅供給に対して、「家は買うものではない、建てるもの」として商品売買を超えた私的社会的総行為でもあることを再確認しつつ、一方で家計でも事業でも収支が成り立たなければならないことを直視して、理想を提言しても経済社会がついてこないから実現できないと嘆くのではなく、どうすれば現実に現状の市場経済の中で実現できるのかを模索し、ある程度成功している点である。この研究開発はその一連の活動を実証分析し、その改善強化と普及展開を模索するものである。そこで期待される成果として、次のような住宅そのものだけでなく社会的経済的に多岐にわたる成果が期待される。

*大量生産供給とは異なった優良住宅供給事業成立の可能性提示

*省エネルギー、資源生産性、地球環境対策、地域環境対策、健康快適な室内環境の同時追求を達成できる住宅を市場が受け入れる範囲の価格で提供できることの可能性提示

*小規模悪条件でも持続可能な林業経営成立の可能性提示⁽⁶⁾この住宅供給方式が家計にも社会的にも建築資産としても森林系の自然資源資産としてもフローとストックの両面において経済収支を改善できる可能性を提示

*世界的な金銭利益追求型の市場経済の行きづまりに対して代替的な経済社会生活の可能性を提示

*都市の産業と地方の産業の関係を再構築する一つの可能性を提示

*それらの達成に必要な技術、生産組織、評価手法、金融など一連の手法提示

写真 1 天然住宅(例)⁽³⁶⁾

2. 背景状況

いわゆる拡大造林⁽⁷⁾により杉、檜が集中的に植林され人工林の蓄積量は過去 40 年で 5 倍に増え、今ちょうど伐期を迎えているが、建築用には輸入材が多用されており、2014 年の自給率は 31%、日本の森林の年間伐採率は 0.48%とされている。その背景には大手住宅建設企業が大量均質素材の短期納品を求め、それに応じて輸入材を高温乾燥し高速プレカットする大規模製材所の台頭がある⁴⁾。一方で森林組合主体の国内林業は補助金依存体質から脱せず、中小製材所は競争力を失い、林業の疲弊衰退により適正な間伐がなされず伐採後の植林も極端に減っており⁽⁸⁾、森林の林齢構成も異常な高齢化が進行して危機的な状況になりつつある。このような状況下で林業の復興は喫緊の課題であり、政府の打ち出した林業政策「森林・林業再生プラン」では施業の集約化と生産性の向上を推進しようとしている。しかし、かえって、市場をゆがめて価格低下を助長しているのではないかとの指摘や、大型機械を導入するための幅が広い林道建設が洪水時の山崩れを助長しているのではないかとの指摘もある⁽⁹⁾。世界市場化とともに短期利益追求型に傾斜している一般企業行動に対して、植林から伐採まで三世代が関わる長期経営が求められる林業は、もとより全く性質が異なる事業である。そのすれ違いが林業を困難にしていることは既に長いこと指摘されてきた⁽¹⁰⁾。世界経済危機、地球環境問題、原発事故に共通していることは行き過ぎた短期利益追求型の企業活動がいつのまにか世界標準になり、そのゆがみが自然人を、自然を追いつめ、限界に達し危険な状態になってきたということである⁽¹¹⁾。この傾向は 21 世紀に入って年々増々顕在化してきており、その象徴が技術、資源、エネルギー面では気候変動問題や、ついに現実に起きてしまった福島原発事故であり、経済面ではリーマン・ショック、ギリシャ、スペイン欧州経済危機、中国経済不安であり、行き過ぎた競争市場経済に対して 1996 年シアトル WTO 会議での 10 万人デモ⁽¹²⁾や、New York の Wall 街近くの公園に市民が結集した “We are the 99 percent” 運動⁽¹³⁾で市民からの異議申し立てがあり、それを支持する経済学、社会学者もあつた。大震災と世界的な経済危機に直面して、このような世界状況の中で 2050 年までに大幅な温室効果ガス排出削減を実現するには、環境の危機への技術対策だけでなく経済の危機の背景起因の共通性に

鑑み、これを一挙に同時解決する途を探らなければ不可能であること、かねてから考えてきたことが、いよいよ顕在化し、ようやく多くの方々にも理解していただけるのではないか、という思いを強くしている。本研究開発が目指すものも、一見多側面に見える諸問題を一挙に解くような解決策を探求するものである。

3. 森と街の連携創出

立木の伐採から住宅建設に至る過程を大手住宅建設業者の場合と、在来型の中小工務店の場合と、天然住宅の場合について図1に比較する。

まず大手住宅建設業者の場合（図1・左）、輸入木材を使う例では海外から船舶輸送された用材（製材）を臨海部大型製材事業所で一括高温乾燥、高速機械でプレカットし多数の建設現場に輸送する。国産材でも宮崎県産杉材のように大量出荷できる地域では同様の工程が見られ、製材、プレカットを短期間で行い納品する⁽¹⁴⁾。

従来一般の中小工務店における住宅建設用材の調達は原木市場や製材市場、木材卸業者等の介在により多段階に分断され（図1・中）、輸送積替の機会も多く、中間利益（さや取り）も多く、丸太で1m³、山元価格1万円程度の木材が製材小売価格は例えば柱としてm³当たり10万円以上になる⁽¹⁵⁾。

これに対し天然住宅の場合（図1右）は林地に近い製材所で製材加工から伝統構法による、仕口ほぞ穴の切り込みまでをすべて一貫して行い、建設現場に直送する。丸太市場、製材市場を経由しないので中間マージンを取られることがなく、建設現場で同じ製材価格でも製材所の出荷価格を高くでき、これを受けて丸太の山元出荷価格もやや高くなり、山主が植林経費を捻出でき森林を維持できる収入を確保できる。仕口加工仕事が製材所側で発生するので雇用創出効果もある。

乾燥方法は低温、燻煙乾燥を行った後、所定の乾燥率になるまで天日乾燥する。天日乾燥だけでは日数を要し低温、燻煙乾燥だけでは十分な乾燥率に達しないので併用が必要になる。機械によるプレカットではなく大工の手仕事で切り欠きを行う点に独自の特色がある。機械プレカットでは高温乾燥でないと高速作業をしにくい、ここでは手作業のため低温、燻煙乾燥と天日乾燥を行っており、のみ作業をしやすい乾燥率になっている。現場で建て方を行ううちにさらに乾燥が進み十分な乾燥が得られる。

図2は 木材供給側のヤング率分布と建築用材の需要側ヤング率分布を量産住宅業者と天然住宅の場合について比較したもので、多くの建設会社では比較的高強度の材だけを使う（図2・左）のに対し天然住宅では需要材のヤング率は幅広く分布し、需要側も供給側の強度分布と近い分布の材がまんべんなく使われていることがわかる⁽¹⁶⁾。天然住宅では合板と集成材は使わないが羽柄材を多用しており、これは丸太から得られる材積のうち建築用材として使われる材積の収率を高くできる利点がある。量産住宅の例では特定の高強度材だけに需要が集中しており、他の需要先と組み合わせないと建築用材としての適正利用が全体として成り立たない。結果として建築用材出荷の歩留まりが低下し、収入になりにくい合板原料やパルプ原料用チップの出荷割合が増え山側の収入減につながっている。

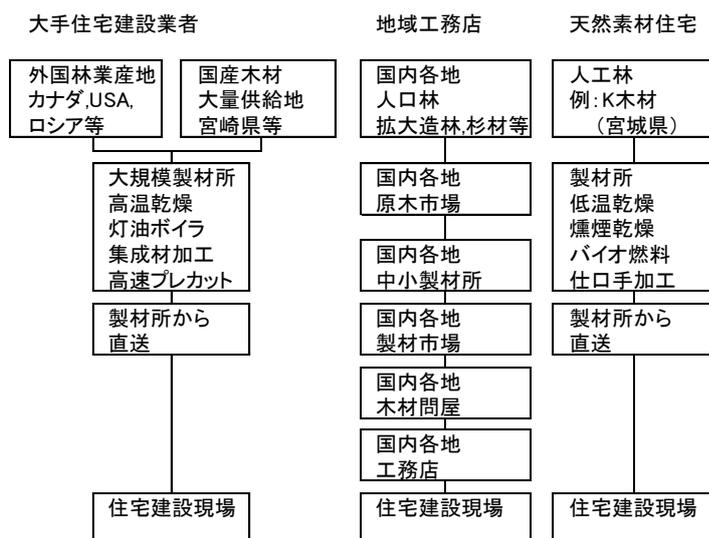


図1 森林から住宅建設現場までの木材の供給経路比較

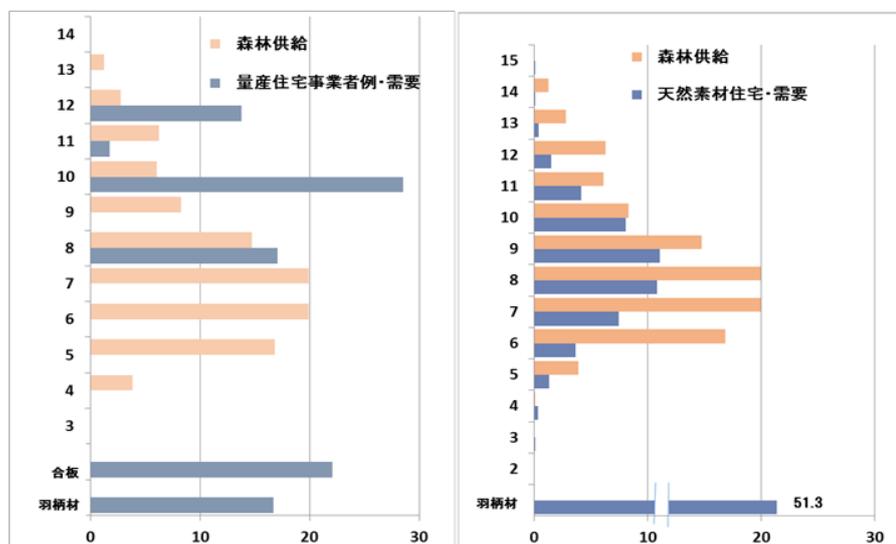


図2 建築用材の強度 (ヤング率) 分布比較 6)
左: 量産住宅事業者例 右: 天然素材住宅

4. 乾燥方法と材の力学性能

当研究の一環として低温乾燥杉材の力学性能試験を実施した (名古屋大学担当、写真2)。各種乾燥法 (高温乾燥、中温乾燥、低温乾燥、および燻煙乾燥) を施した実大梁材について、静的実大曲げ試験の結果を基に、3等分点4点曲げ法によるクリープ試験 (一定の荷重を長期間負荷する試験) を行った。供試材には宮城県産45年生スギ丸太60本を用い、これらを粗製材した後諸物性値 (密度、動的ヤング係数) を測定し、物性値が概ね平準化するように各種乾燥法に15体ずつ振り分け



写真2 杉材・実大梁のクリープ試験(4)
破壊荷重の15%の荷重(4点曲げ法)

た。乾燥後の最終的な試験体寸法は120mm(幅)×210mm(梁せい)×4000mm(長さ)である。これらの試験体から、静的実大曲げ試験に10体、クリープ試験に3体を選別した。静的実大曲げ試験は構造用木材の強度試験マニュアルに従い、3等分点4点曲げ試験法で行った。

以上の静的試験の結果を基に、各乾燥法ごとに3体、合計12体の試験体について実大クリープ試験を行った。クリープ試験の荷重レベルは曲げ強さの15%程度とした。クリープ試験ではたわみ、水分の吸脱着による寸法変化量、および含水率を経時的に計測している。これより得られた荷重-たわみ曲線から曲げ強さと曲げヤング係数を算出し、含水率補正を施した。両者の関係を図3に示す⁽¹⁷⁾。一般に、曲げヤング係数と曲げ強度とは相関があることが知られている。図3より曲げヤング係数の増加に対して、高温乾燥法では曲げ強度が比較的増加せず、これに対して低温乾燥法では比較的増加する傾向が見られた。荷重にたわみで抵抗する、しなやかな対応は他の材に比べてヤング率が低く相対的に低強度とされる杉材の特徴でもあるが、低温乾燥により、よりその特性が活かされることにつながる。

また、静的実大曲げ試験の破壊後の材を用いて、乾燥法が化学成分に及ぼす影響についても分析しているが、専門分野が異なるため本稿では扱わない。乾燥法と化学成分の関係については、例えば、高温乾燥に関しては内部割れと化学的変成で強度低下があるとの指摘もなされている。写真3は低温乾燥材と高温乾燥材を比較したものである⁽¹⁸⁾。建築用木材の乾燥方法に関しては、まだ研究の余地が多く残されていると考えられる。筆者等は新しい乾燥方法を試行している製材所の見学を行い、知見の収集に努めているが、その途の専門家ではないので本論でも扱わないでおく。

住宅において木材は長期間にわたって荷重を負担するため、内部割れなどの初期変化のほかに、経年変化に係る耐久性やクリープといった力学挙動に対しても化学成分の変性は関与すると考えられる。長寿命住宅の根幹をなす部材の耐久性能を評価するためには、化学成分と力学性能の関係についても検討する必要があると考えられるが、本論の検討対象範囲ではないので、これも扱わないでおく。

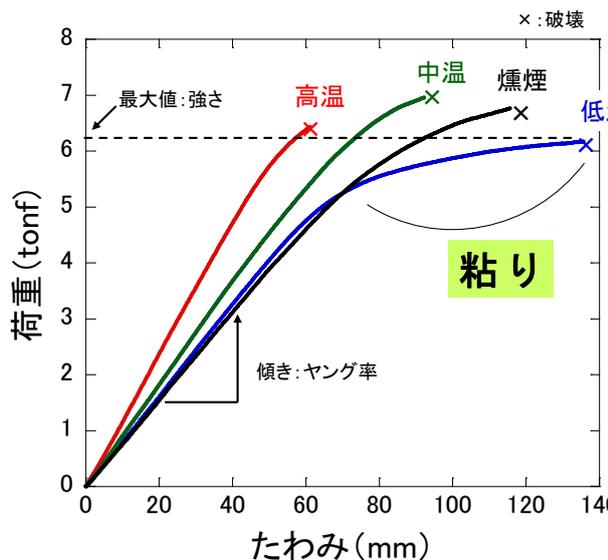


図3 乾燥温度とたわみ⁽¹⁷⁾



写真3 低温乾燥材と高温乾燥材⁽¹⁸⁾

5. 自然素材と化学物質過敏症対応

天然住宅の特徴の一つはとことん自然素材を使うことで、集成材、合板は一切不使用で合成接着剤は使わない、防腐防虫剤処理も行わず、貝てき漆くい、天然ウール断熱材等天然素材を使用している。その結果、化学物質過敏症で困っていた人が天然住宅に住む様になったら発症しなくなったという事例が多数ある⁽¹⁸⁾。

6. 住宅資産価値評価金融へ

これまでの戸建住宅ローンでは金融機関は土地建物を一体として土地に重きを置き、建物に関しては固定資産税評価と法的な減価償却期間を機械的に当てはめ、住宅建築の実質の資産価値に重きをおかない評価が多くなされて来た。そのため住

宅性能、環境価値、長寿命性に優れた資産価値が高い住宅であっても、短命な住宅と同様の価値しか評価されない傾向があった。

天然住宅のような長寿命で環境価値が高い住宅については建物資産価値が正当に評価され融資担保の価値を認められてしかるべきと考えられる。しかし既存の金融機関ではマンションでは建物価値を担保評価に入れているが、土地付戸建住宅金融に関して土地担保主義であり、住宅建築そのものの価値は重視されない慣習が続いている。そこで天然住宅では独自の金融機関・天然住宅バンクを設立した⁽¹⁹⁾。また寿命を含む住宅の環境性能を資産価値として積極評価して優良住宅建設を加速推進する融資制度の創設に向けて金融機関を招いた研究討論も行った⁽²⁰⁾。仮に土地担保であっても住宅建築の資産価値により好条件融資が受けられる様な評価法の導入も考えられる。社会全体にこの意義が認められ、前向きな方向への動きも見られるが、一般の金融機関で土地担保に替わって住宅建築そのものの価値を担保に認めて融資する事例は少ないようであり、さらに踏み込んで住宅の資産価値として省エネルギー性能を含む環境優良性を担保価値として評価に取り入れた融資の事例の報告は見当たらず、望ましいと考えられる住宅資産評価による融資は制度化されていない。

7. 中古住宅市場における環境優良住宅価値評価

現在の都市部で戸建住宅供給のよくある事例は 30 坪の敷地に 30 坪の住宅を建て土地、建物ともにそれぞれ 2 千万円から 3 千万で合計 4~6 千万円の物件(東京近郊の例)である。そこでの木造住宅の減価償却評価上の法定耐用年数は木造住宅の場合 22 年とされている。中古住宅の売買では、築年数が古い住宅では建物の資産価値は評価されず、古家付き土地として売買される場合もある。建て売り住宅の場合、実際に 2 2 年程度の耐用年数しか持たない劣悪な品質の木造住宅も建設されていると言われる。最近では国土交通省でも長期優良資産となる住宅の建設を推奨し 200 年住宅の認定も行われている。しかし法定耐用年数は 22 年評価のままである。このような資産評価慣習の下で、天然住宅では環境優良長寿命建築の資産価値が正当に評価されるよう、中古住宅の評価手法、評価慣習の変革をねらい、環境優良住宅認証制度の構築を進めている。

8. 環境優良住宅認証

中古住宅市場での適正な資産評価が得られるよう、天然住宅を対象にした環境優良住宅認証制度の構築を進めるべく、この研究開発事業の一環として制度設計を行い、認証制度の具体化を検討した。これまでの環境認証は森林管理については FSC(森林管理協議会)認証、工場等事業所の環境管理については ISO14001、建築の環境性能については USA の LEED や日本の CASBEE 等が個別に評価されてきた。しかし木造住宅について林業から住宅までを統合評価する認証はなかった。個々の製品の CO₂ 排出量については例えばカーボンフットプリントが最近多く情報提供されるようになった。また不動産鑑定は環境価値や省エネルギー性能とは無関係に評価されていた。個別に様々な認証や評価値はあったが全体を統合した評価

や、連動した評価はなされてこなかった。そこで、本研究では森林管理、製材から住宅建設までを統合し一括評価する環境認証の仕組みを試行的に構築した。その評価項目案を表1 a、表1 b⁽²¹⁾に示す各項目について確認事項と確認・評価方法を検討し、項目別の測定方法や評価方法など、個別の詳細な内容についても具体的な検討を行った。

その認定が不動産価値評価に反映され中古住宅市場における適正価格評価に使われることが一つの目的である。新築住宅の認証は林業者、林産業者を含む資材供給者、設計者、監理者、施工業者と住宅そのものについて実施、更に竣工引き渡し後は、自動車の車検に相当する「家検」を5年毎に実施する。これらの一連の認証を行う認証機関を設立する予定であるが、この機関はISO/IECガイド61に則った機関に認定され、ISO/IECガイド65に則った機関として設立する予定である。このような世界的に公認された制度運営と審査手法による第三者認証であることが評価の客観性信頼性の証となり中古住宅市場での不動産価格評価に反映されるようになることをめざしている。事務所などの業務ビルについては日本政策投資銀行がDBJグリーンビルディング認証を2011年4月から行っており、REIT等の不動産金融市場評価における適正評価に役立つことが期待されている⁽²²⁾。大型マンションなど資産価値が大きい集合住宅はREITの対象に取り込まれており業務系より高い収益性が期待されるものもある。戸建て住宅に関しては現時点ではREITのような不動産金融に組み込まれることは考えにくい、戸建て住宅は個人所有の持ち家という現行慣習にとらわれる必要はなく、これからは柔軟な発想で新しい融資、所有、管理形態を模索するべきである。いかなる形態の場合にも客観適正な不動産価値評価は必須であり、環境性能、省エネルギー性能と耐震性、建物と素材の寿命、デザイン価値など個別要素毎のきちんとした評価がなされるようになってゆくと予想、期待されるのでこのような環境認証手法を早急に整備することが重要と考えている。

9. 居住環境実測

天然住宅の実例について室内外の温熱環境と壁対の熱流、部材の含水率などについて実測を行った(担当、温熱環境・早稲田大学、部材含水率・工学院大学)。表2に実測項目を示す⁽²³⁾。図4に夏期の温熱環境実測の結果を示す。天気は晴れで外気温度は26.0~34.0℃を推移していた。室温は各居室共に25℃以上を保続けており、湿度変化も外気程大きくは無かった。また多機能分電盤からのデータから洋室は冷房による室内空調管理を行っていたことがわかっており、洋室の室温は9:00以降常に26℃の安定し推移していた。それ以外の居室では冷房を使用していなかったが、日射の影響を受けやすいリビング以外は概ね安定していた。また外壁の断熱性能や壁内の温度分布を明らかにするため壁内温湿度変動の実測を行った。図5にその日の壁内温度分布を示す。なお図は略すが実測期間中、年間を通じて壁の室内側表面と壁内で露点温度以下になっておらず、かび発生の恐れがない、または少なく衛生、健康、耐久性の面でも問題ないことが確認された。

表 1 a 天然住宅認証の評価項目⁽²¹⁾

1.持続可能な森林管理					
	項目	確認事項	確認・測定方法	得点	オーガニック住宅
基準1 持続的な森林資源の管理					
	木材生産方法	間伐材	伐採届、現地写真、現地確認(サンプリング)		
		主伐材の場合伐採後の確実な更新	伐採届、現地写真、現地確認(サンプリング)		
		天然林材の場合その樹種の確実な更新	伐採届、現地写真、現地確認(サンプリング)		
		長期的な管理方針	管理方針文書、宣誓書		
	森林認証	FSC	認証登録証		
基準2 森林の環境保全					
	森林環境	林地の侵食や河川への土砂、枝葉の流入の有無	写真、現地確認(サンプリング)	必須要件	
	残存木への影響	伐採活動による残存木への傷の有無	写真、現地確認(サンプリング)		
	木材の最大限の利用と廃材の最小限化	伐採間伐の最小限化、木材の最大限の活用	写真、現地確認(サンプリング)		
	化学薬品の使用	FSC禁止薬品の使用禁止	管理者への聞き取り		
		化学薬品の使用禁止	管理者への聞き取り、残留農薬測定?		○
	廃棄物の適切な処理	林地への廃棄物の投棄の有無	写真、現地確認(サンプリング)		
	貴重種や貴重な生態系の保護	国立公園、国定公園、県立自然公園などの指定の有無	地図		
	森林認証	FSC	認証登録証		
基準3 生産性向上の努力					
	生産性向上の努力	生産性向上のための取り組み案件数			
2.環境に配慮した木材加工					
基準4 環境に配慮した木材加工					
	加工工程中の化学物質の不使用	加工過程で化学物質(防腐剤等)を使用しない	加工記録、現地確認	必須要件	○
		化学物質(防腐剤等)を使用した木材と同じ場所に保管しない	保管記録、現地確認	必須要件	○
	超低温乾燥	超低温乾燥設備による木材乾燥	加工記録、現地確認	必須要件	○
基準5 トレーサビリティ					
	トレーサビリティの確保	販売から加工、仕入までさかのぼるトレーサビリティ または残留農薬の検査	購入記録、加工記録、保管記録、販売記録 バックテストで可能?	必須要件	
3.適切な費用の支払い					
	項目	確認事項	確認・測定方法	得点	
基準6 林産地側の人々の生活を守る					
	木材購入価格	地域の市場価格より○%高い価格での購入	丸太・木材購入時の請求書、地域の市場の市況表	必須要件	
		または地域の標準的な育林、加工コストに○%上乗せした価格での購入	丸太・木材購入時の請求書、地域の標準的なコストの資料		
基準7 住まい手が経済的に不当に苦しまない					
	住宅助成	住宅購入費用助成制度の施主への提案	助成制度の提案内容		
基準8 工務店、職人、その他の関係者の生活を不当に圧迫しない					
	費用の支払い	支払い方法			
4.居住環境に配慮した住宅					
基準9 住まい手の健康を害しない					
	室内環境	室内温度	快適な室内温度		
		騒音	騒音レベル		
		振動	振動レベル		
		排気	適切な排気システム		
		湿度	湿度管理		
	換気	換気扇の設置(台所、風呂、ストーブなど)			
		車庫の配置			
基準10 住まい手が過剰に有害化学物質に暴露しない					
	使用化学物質	塗装	設計書、資材購入時の請求書		
		接着剤	設計書、資材購入時の請求書		
		害虫対策	設計書、資材購入時の請求書		
		化学薬品の不使用	設計書、資材購入時の請求書		○
	建材	木材、ガラス、石油化学製品、鉱物、コンクリート等	設計書、資材購入時の請求書		
		石油化学製品の不使用(塩ビ管、雨どい等含めて)	設計書、資材購入時の請求書		○
	家具・家財	接着剤、防腐剤など使用していない家具・家財の使用	設計書、資材購入時の請求書		○
基準11 住まい手が過剰に電磁波に暴露しない					
	基礎	電磁波を発生しにくい工法			
		太陽電池	設置場所や工法の工夫		
		IHの不使用	極力不使用、使用する場合はガスに切り替えられるようガス管を設置		

表 1 b 天然住宅認証の評価項目 続き⁽²¹⁾

5.長寿命住宅				
基準12 最低でも使用木材が回復するまでの寿命を確保する				
	耐震設計	耐震設計		
	害虫対策	害虫対策		
基準13 建築時・居住時の二酸化炭素排出量を最低限にする				
	総合的な二酸化炭素排出量削減	標準的な値と比較し〇%削減	通常居住状態で想定される二酸化炭素排出量の測定	○
	電力	省エネ電化製品の利用(冷蔵庫、テレビ、エアコン等)	製品設置の確認、統一省エネラベル	
	再生可能エネルギー	太陽熱、太陽光発電	設備設置の確認	
		木質バイオマス(薪、ペレット)	設備設置の確認	
		風力	設備設置の確認	
	断熱	小水力	設備設置の確認	
		窓の配置、断熱窓の使用	設計書、現地確認	
		南側屋根の面積	設計書、現地確認	
		植生の配置	現地確認	
		太陽光を反射しやすい色	設計書、現地確認	
	水	給湯配管	設計書、現地確認	
		雨水の利用	設備設置の確認	
	気密性	節水設備の利用(シャワー、トイレ、洗濯機等)	設備設置の確認	
		気密性のよさ		
	冷暖房、給湯	外気の取り入れ		
		効率的な機器の使用	設備設置の確認	
	照明	省エネ器具	設備設置の確認	
		太陽光の利用	設計書、現地確認	
	国産材	国産材の利用(〇%以上)	出荷伝票、請求書	必須要件
	無垢古材の利用	無垢古材の利用	外観、購入時の請求書	
基準14 リユース・リサイクルの推進				
	移動可能な住宅	移動可能な住宅設計	設計書、現地確認	
	廃材、廃棄物の最小限化	木材購入、利用計画	木材購入、利用計画書	
		リサイクルのしやすさ	リサイクルしにくい複合素材の使用の回避	
基準15 メンテナンスのしやすさ				
	メンテナンスのしやすさ	メンテナンスしやすくする箇所を		

10. LCCO₂ 評価比較

10-1 LCA の与件設定

育林から解体までの全過程を評価境界にしたライフサイクル CO₂ 排出量、LCCO₂ 評価を行った (担当、埼玉大学+早稲田大学)。LCA は CO₂ 排出だけでなく、より多様な側面を総合して環境影響を評価すべきであるが、ここでは温暖化対策に主眼を置いた研究を行っており LCCO₂ 評価を行った。いわゆる System Boundary と呼ばれる、定量評価対象要素範囲を決める必要があるが、ここでは表 3 に示す構成要素を対象にした。要素毎の設定条件を表 4 に示す。

10-2 木造住宅の建設 CO₂ 排出

天然住宅の LCCO₂ 排出量を分析する前に、住宅建設の平均的な CO₂ 排出量を確認しておこう。表 5 は建設部門産業連関表による住宅構法別建設 LCCO₂ 推計値である⁽²⁴⁾。この表は建設部門産業連関表の建築素材等の投入金額に各投入品目の金額当誘発 CO₂ 排出量を産業連関表基本表から推計⁽²⁵⁾して与えて推計した誘発排出量で、床面積当たりの原単位として示した。なお産業連関表は 2011 年表が 2015 年 6 月に公表されたが、建設部門表はまだ公表されていないので、ここで用いている 2005 年表推計が現時点で利用できる最新値である。10 年前の値ではあるが床面

表2 Y邸・実測項目⁽²³⁾

所在地	東京都目黒区
延床面積	99m ²
家族構成	夫婦、子供2人、祖母1人 計5人
実測期間	2010/12/29～
実測箇所	洋室、主寝室、リビング
実測項目	温湿度(各室) グローブ温度(各室) 壁内温湿度(洋室壁内) 壁面熱流量(洋室壁内) 屋外気象(バルコニー) 間柱表面の木材含水率(洋室1壁内) 電力消費量(住居全体、電気分岐毎28ch) ガス消費量(住居全体、1パルス/0.1m ³) 水消費量(分岐毎、1パルス/10L)
測定間隔	温湿度 10分 グローブ温度 10分 壁内温湿度 10分 壁内温湿度 30分 壁面熱流量 10分 屋外気象 10分 間柱表面の木材含水率 10分 電力消費量 10分(データ集録は1時間) ガス消費量 10分(データ集録は1時間) 水消費量 10分(データ集録は1時間)

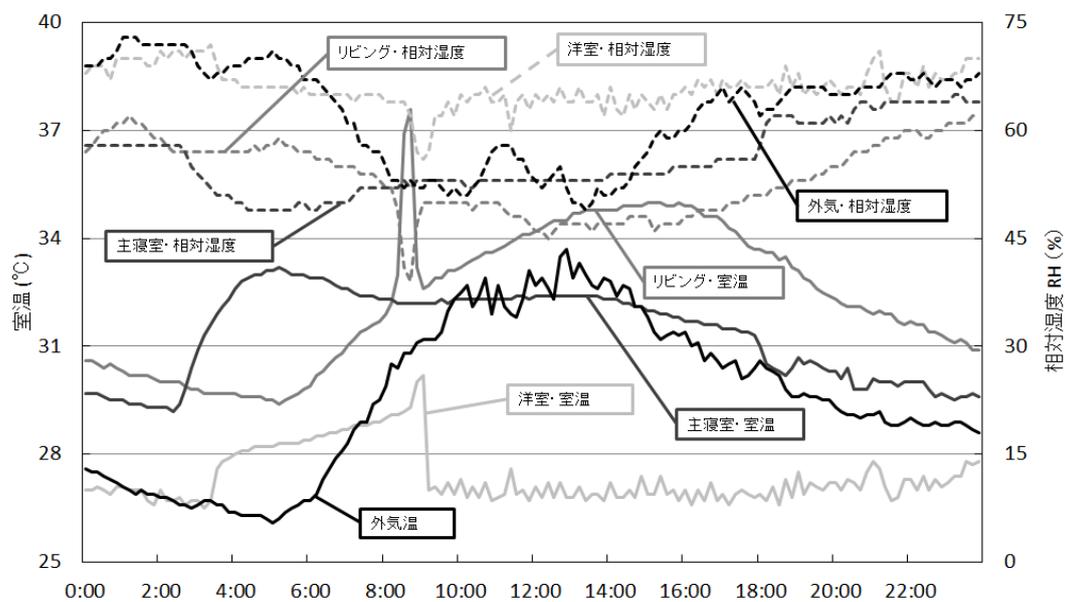


図4 天然住宅 室内環境実測例⁽²³⁾ (Y邸・目黒区) 2011年7月17日

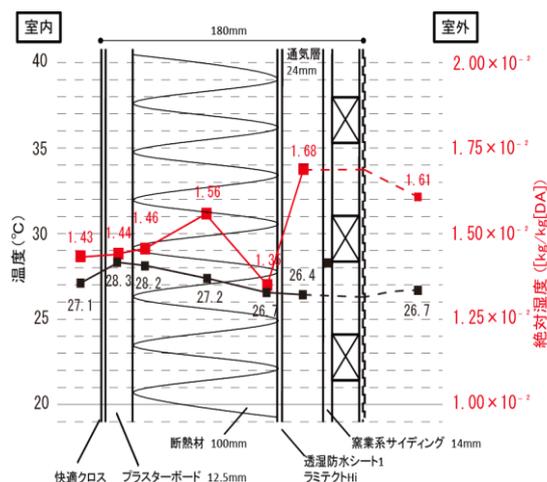


図5 天然住宅 壁対温度湿度傾斜・実測結果⁽²³⁾
(Y邸・目黒区) 2011年7月17日

表3 住宅LCAの構成要素

構成要素	評価対象範囲
林業	育林から伐採、森林から丸太搬出、製材所に輸送
林産業	製材所での製材加工、製材出荷、仕口加工、現場への輸送
木造住宅建設	建築資材生産、加工、現場への流通輸送、工事、設計、事務サービス
運用	暖冷房、給湯、厨房、照明・家電機器
改修	内装外装部位部材により更新周期を設定、将来も同じもので更新想定
解体廃棄	安定型、管理型・産業廃棄物として処分場へ輸送し、リサイクルと処分
木材の再利用	木材のうち構造材を再利用
木材の炭素固定	固定分を排出から差し引き純排出量を計算

表4 天然素材住宅 LCA 設定条

構成要素	設定条件
林業	宮城県、杉材、70年生伐採、主伐1630本/ha、間伐2回、製材所へ直送 5番玉まで搬出製材、皮むき後丸太歩留り0.65、製材歩留り0.375
林産業	バイオマス燃料・低温、燻煙乾燥、仕口加工も行い、建設現場直送
木造住宅建設	床面積125.86m ² 、むく材、伝統工法仕口、木材多用(30m ³ /戸、通常の1.5倍)、壁断熱100mm、中気密、Q値2.08W/m ² K
運用	暖房はバイオペレットストーブ、他は一般的想定
改修	建物寿命を100年、設備15年、主内装30年、建具40年等毎に更新
解体廃棄	近田等(2003)と同様のリサイクル率
木材の再利用	構造材100%再利用(構造材で非再利用量とその他材再利用料量同量)
木材の炭素固定	比重0.4、含水率(質量比)15%、木材中炭素質質量比0.5

表 5 住宅構法別・建設 CO₂ 排出量 2005 年・建設部門産業連関表

建設部門産業 連関表CODE	住宅構造	CO ₂ 排出量 1000tCO ₂ /y	床当CO ₂ 排出 kgCO ₂ /m ²	相対強度/住宅 平均
C401100	木造住宅	33,548	555	85%
C401230	S住宅	14,175	787	120%
C401220	RC住宅	22,247	774	118%
C401210	SRC住宅	2,053	839	128%
C401240	CB住宅	192	642	98%
C401200	非木造住宅	38,674	781	119%
C401000	住宅 平均	0	657	100%

建設部門産業連関表 2005年版より計算

積当の誘発排出量は大きく変わってはいないと考えられる。

木造住宅は RC,SRC 等の非木造住宅に比べて明らかに誘発 CO₂ 排出量は低めである。木造住宅の 555kg CO₂/m² は住宅平均の 657kg CO₂/ m² より 15%低く、非木造平均の 781kg CO₂/ m² に比べて 29%低い。集合住宅いわゆるマンションの多くは RC,SRC 造であり、この場合廊下や階段等の共有部も建設床面積に含まれるため、共用部を 15%として居住用床面積当誘発排出量を求めると 916kg CO₂/ m² となり、居住用床面積当では木造住宅は RC,SRC 集合住宅より 39%低いことになる。

10-3 製材の LCA

まず林業施業から製材 1m³の製造に至る工程での CO₂ 排出について表 6 に比較する⁽²⁷⁾。外材では輸送距離が長い場合があるが、ロシア産の輸入木材は陸上輸送の排出が大きく製材 1 m³当たりの CO₂ 排出量がこれらの比較例中で最大であった。国内大型製材所で高温乾燥、プレカットした事例の CO₂ 排出量は栗駒の例に比べて大きかったが、栗駒ではバイオマス燃料だけを使っているため乾燥の CO₂ 排出量をゼロ計上している分排出量が少ない。乾燥の燃料、温度、時間の違いによる影響、輸送距離と手段の差が大きい。

10-4 天然住宅の建設 CO₂ 排出

次に天然住宅の建設誘発 CO₂ 排出量について示す。図 6 は典型的な木造一戸建住宅と比較したものである⁽²⁷⁾。天然素材住宅は 345kg CO₂/ m²、在来木造は 466 kg CO₂/m²であった。天然素材住宅では金属類の使用量は少なめであるのでその分、在来木造より建設 CO₂ 排出が低い、コンクリートの排出が大きい。これは布基礎の下に建築面積全面に平面基礎コンクリートを打設することが阪神大震災後普及しており、この天然素材住宅でも大量の基礎コンクリート打設が行われていたことが原因と考えられる。仮に基礎コンクリートを減らした場合を想定すると 300kg CO₂/m²となった。本格的な伝統工法では石場建てと言って基礎は石だけの工法もあり、石場建の想定では 238kg CO₂/m²で在来木造の半分まで削減できる可能性が

表 6 建築用材製材までの CO₂ 排出量 製材 m³ 当⁽²⁷⁾

	天然素材 低 温乾燥バイ オ燃料	国内例 高温 乾燥プレカッ ト	国内例 集成材	国内例 合板	ロシア産 輸入例 製材
森林施業	51	29	29	29	9
製材加工	22	27	50	45	21
乾燥	0	81	80	104	90
海外陸上輸送	0	0	0	0	228
船舶輸送	0	0	0	0	8
国内輸送	16	14	14	14	7
誘発排出	15	15	73	73	16
CO ₂ 排出計	104	165	246	264	379

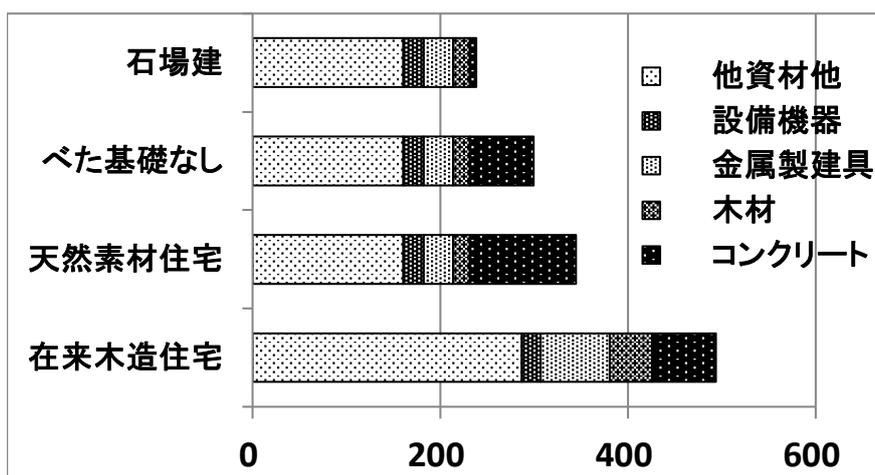


図 6 建設誘発 CO₂ 排出量 kg CO₂/m²

ある。コンクリート依存しない伝統工法は低 CO₂ 排出と言える。コンクリート等、木材以外の排出寄与が大きいため木材(製材)生産の LCCO₂はその部分で削減がなされても全体への寄与は小さい。逆に言えば部材を長寿命に使った木材利用は LCCO₂排出はかなり小さく、概算カーボンニュートラルと評価してもよいと考えられることもできよう。

10-5 運用（日常エネルギー消費）の CO₂ 排出

建築 LCA で運用とは日常の住宅エネルギー消費に伴う排出を示す。建築学会 LCA 指針では上下水道、ごみ処理、経常的修繕も運用に含めて計上しているが、ここでは含まない。また家計調査では自家用車燃料消費量も調査されているが、住宅 LCA では自家用車排出を含まないのが通常である。図 7 に示すように全国平均、平均床面積 90 m²、世帯当 3.37tCO₂/年から 37.5kg CO₂/ m²年（2010 年度）である⁽²⁸⁾。エネルギー用途の構成は資源エネルギー庁の民生用エネルギー消費実態調査⁽²⁹⁾の構成比を取り込んで用いた。この値は集合住宅を含む平均である。在来木造は都内の典型的な一戸建住宅を想定したものである。床面積当 CO₂ 排出量は

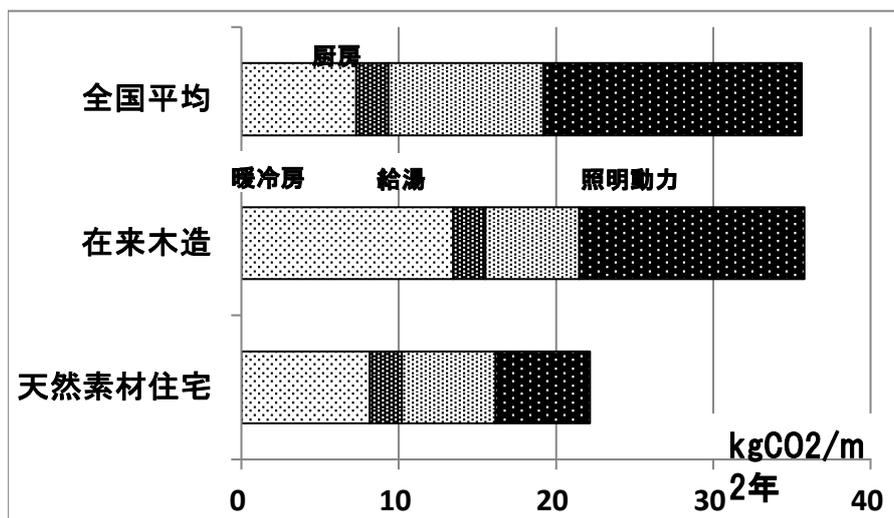


図7 運用（日常エネルギー消費）のCO₂排出量⁽²⁷⁾
 全国平均は2010年度、集合住宅を含む全世帯平均

35.8kg CO₂/m²年で全国平均よりやや低い値である。これに対して天然素材住宅では暖冷房と照明・動力の排出が少なく22.2kg CO₂/m²年と在来木造設定例より38%低かった。天然素材住宅の例では断熱性能は適気密で、Q値は2.08W/WKである程度の高断熱で、暖房はバイオペレットストーブ、夏は冷房を多用しなくても過ごすことができる室内環境でCO₂排出量は少ない。この室内環境の温湿度については実測した結果の概要を上述したが、省エネルギーでも健康、快適な室内環境が確保されている。

10-6 修繕・改修のCO₂排出

このLCAでは天然住宅は100年寿命を想定しているが100年の内には何かしら紫外線等による色変や劣化が起こり、修繕や使い方の変化に応じた改修工事が起こるであろう。しかし改修は建設時点ではどの程度の工事になるか予想しにくい。既往の建築LCA事例を見ると修繕改修の誘発排出量が過大な見積もりなのではないかと思われる設定例が多い。想定しにくいので大きめに見積もっている場合もあるようである。この研究でも初期の推計では部位により10年毎から40年毎に更新するとして計算していたが、精査するともっと低い推計が妥当であろうとされたので、この論文では下方修正を行った⁽²⁷⁾。

10-7 解体廃棄物の発生量

CO₂排出以外の環境負荷として建築学会LCAで推計できる指標として解体時廃棄物の発生量を表7に示す⁽³⁰⁾。このすべては最終処分場にいったん輸送され、このうちリサイクルされなかった分が安定型または管理型の最終処分に処される。天然住宅では環境負荷が大きい素材をできるだけ排除して使わないので解体廃棄で自然を害する廃棄物の発生は通常の住宅より少ないはずである。廃木材はバイオマ

表 7 解体・廃棄物発生量⁽³⁰⁾

廃棄物種類	天然住宅	建築学会LCA
	kg/m ²	kg/m ²
コンクリート	546	183
鉄筋	14	4
陶磁器、ガラス、瓦礫	55	365
廃プラスチック類	2	11
金属くず	10	16
紙、木、繊維くず、他	115	77
廃石膏ボード	24	6
その他		370
廃棄物量 計	766	1,032

ス燃料として利用できるはずなので、焼却して熱利用するとしてその寄与を試算したが、LCCO₂全体への影響は小さかった。建築学会 LCA 指針の推計例⁽³¹⁾に従い、鉄、非鉄等の金属類の回収リサイクル、コンクリートがら等もかなりの割合でリサイクルする想定とした。その際、柱、梁の構造部材は古材として再利用することを想定したが、100年寿命に1回なのでLCCO₂としては寄与は小さい。むしろ木材の再利用はカーボンニュートラルと評価した以上、燃焼機会を先延ばしにすることによる実際のCO₂排出抑制効果の評価すべきと考える⁽³²⁾。

10-8 住宅のLCCO₂総合評価

以上の各要素に改修、解体廃棄を加えた住宅のLCCO₂は図8に示すように天然住宅・建物寿命100年想定では29.12kgCO₂/m²年となった⁽²⁷⁾。これを典型的な軸組構法の在来木造一戸建住宅想定例と比較すると、在来木造は59.37.12kg CO₂/m²年であり、天然住宅は、ちょうど半分になった。さらに天然住宅で低炭素生活を行った場合を想定すると17.16kg CO₂/m²年、さらに建物寿命を200年とすると14.12 kg CO₂/m²年となった。これは在来木造の4分の1水準である。これらの推計はどれも誘発排出を含むものであるが、天然素材住宅のLCCO₂はかなり低い値であることが確認された。

11. 2050年LCCO₂削減シナリオ

2050年にLCCO₂評価でcarbon neutralという目標は建設など運用以外の間接的な排出を含めて評価しなければならないが、ここでは仮に運用部分だけで排出が十分ゼロに近い水準まで削減されることを目指した排出削減シナリオについて検討した(担当、埼玉大学)。2050年までにはいまだ開発実用化されていない技術が導入されることを大胆に想定しなければ目標達成の姿を描くことはできない。紙面の都合上詳しくは説明しないが各用途においてかなりの希望的な技術革新がなされるものとした⁽²⁸⁾。当然そこでは再生可能エネルギーが最大限導入される前提である。例えば給湯は太陽熱温水器とバイオマス燃料を使えば完全なcarbon

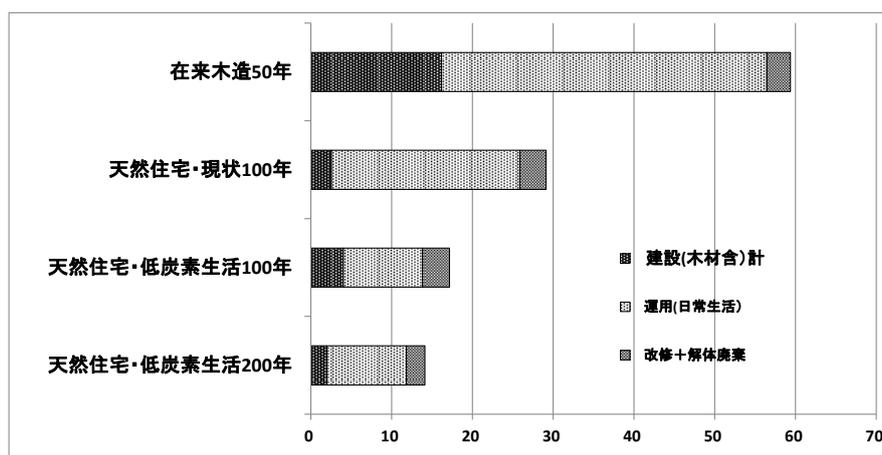


図8 天然住宅 LCCO2 想定寿命別比較

neutral を達成できる。調理には現在都市ガスを使っているが高度な万能電子レンジを再生可能エネルギーで発電した電力で稼働できれば CO₂ 排出を大幅削減できる。まず、これらのような希望的な将来技術像を描くことから CO₂ 排出なしの達成へ限られた期間で急速に具体化することを想定している⁽²⁸⁾。図9は過去の住宅 CO₂ 排出量推移から、今後の積極的な排出削減対策の実施によりどのような経路で2050年に carbon neutral、バイオマス燃焼排出をゼロ評価して排出ゼロを達成できるか、を希望的に示したものである⁽³³⁾。

1.2. 林業、林産業の再生に向けて

天然住宅と栗駒木材の連携において経営的に成立する持続可能な林業の追求を行っているが、現在、継続的な植林を行うとともに長期的に望ましい安定した林齢例構成、樹種構成となるような森林整備計画について150年先までのシミュレーション研究を行っている⁽³⁴⁾。

栗駒木材では木質ペレットの生産販売や、下草の除草を林内放牧⁽³⁵⁾で行ったり、都市の住宅購入予定者を集めた皮むき間伐試行行事を行ったりしている。また大がかりな設備投資をしない自伐林業の手法^(5,6)を参考に林業作業の改善を試行しており、この手法で津波被災地の森林伐採作業に四国の林家グループと現地の林家と共同で取り組んでいる。

1.3. 連携による水平展開

全国には類似の優良木造住宅建設を推進しようという非営利組織が多数あり、天然住宅はそれらの組織と横の連携を模索している。その目的は2050年までのマクロな目標として CO₂ 排出低減を実現させるには類似活動の急速な普及展開が求められるからである。

そこで林業、林産業、建築家、工務店、住宅建設予定者等に我々の活動を知ってもらうため研究集会を多数開催し、全国の関係者に呼びかけ総合討論を行い、交流

の機会も設けた。またこの研究開発で得られた成果をわかりやくすまとめた 2 つの小冊子を発行し配布した。供給者側には『森と街をつなげる実践ガイド』⁽³⁶⁾、居住者側には『住まい方アドバイス』⁽³⁷⁾を作成した。

また全国の類似活動団体と相互協力的な情報共有を推進した。例えば特定非営利

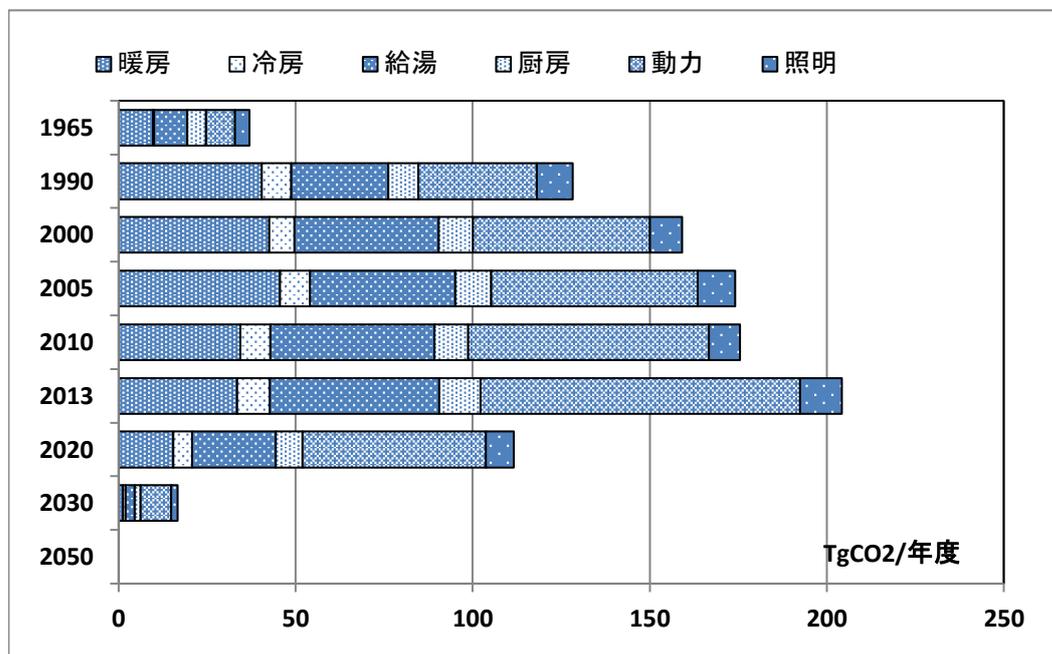


図 9 将来排出削減シナリオ-2050 年⁽³³⁾
carbon neutral 達成に向けて

活動法人木の家だいきの会は埼玉、東京地区の地場産材で住宅を建てる会で、西川材、ときがわ材、多摩産材の杉、檜を主に使い、家を建てようとする賛同一般会員と、林業家、製材所、材木店、建築家、工務店、建具、家具、左官などの職人から構成される専門会員が集まって、木造住宅に詳しい設計者、地場産木材を扱い慣れた地元の工務店などが様々な専門のネットワークを活かして協力し、職人の伝統的な技能を継承しつつ健康的で長寿命の家を建てる活動をしている。一般会員も森に入って見学会などに参加し、建てる際は立木の中から大黒柱となる木を家族で選定するなど「家は買う物ではなくて建てるもの」であることを次世代の子供達にもわかってもらうようにしている。またこの会では中古住宅の耐震診断と省エネルギー診断ができ耐震とエコ・リフォームを同時に提案できる設計者、工務店を育成する事業を展開しており、既存住宅の排出削減にも取り組んでいる。

類似団体の組織化については財団法人日本住宅・木材技術センターが「顔の見える木材での家づくりグループ」⁽³⁸⁾を公募選定、天然住宅を含めて 190 の団体が選出登録されているが、まだ強固な横の連携ができていない。

また日本建築学会地球環境委員会傘下に、住宅カーボンニュートラル達成シナリオWG(主査・外岡、2010.4~2014.3)を設置し分野横断的な交流と情報共有の機会を設けた⁽³⁹⁾。

JST 研究ではこのように様々な手法で関係諸団体、林業、林産業、工務店に呼びかけ連携を模索したが、まだ十分な連携を構築できていないのが実情である。そのような状況に対処すべく JST 研究終了後、任意団体『森街再生会議』を設立した⁽⁴⁰⁾。

15. 期待される成果

現在、天然住宅が行っている「森と街」の連携による国産材木造住宅の供給と林業、林産業復興への試みは、金銭利益追求型のビジネス活動が旺盛な中でも市場に受け入れられており、本稿で示した様々な追加的な活動を展開し、それが一定の効果をもたらすことができたならば、冒頭の目的に書いた成果を期待できるものと考えられる。

そして、住宅供給に限らず、食の分野であったり、低炭素都市づくりや、土木工事の手法、河川海岸管理や自然保護の分野であったり、日本の国土で展開される生活のすべてとのつながりの中で類似の指向性を持った活動が十分展開されたときに温室効果ガスの大幅な排出削減の達成が見えてきて、真の持続可能性追求への確実な一歩を確認できるようになるものと期待する。

16. まとめ

本稿では JST 研究において行った我々の実践的な社会技術研究開発について全体概要を紹介し、その限られた期間内での成果について報告した。本研究は天然住宅の実践活動を題材に多分野の専門視点から客観解析を行い、その評価結果を用いて再試行とマクロな長期目標への効果拡大を目指した活動を展開するものであり、文部科学省が提唱する文理融合⁽⁴¹⁾や、さらに社会実践と学術的な研究との接点を探る試行活動でもある⁽⁴²⁾。このような活動の探求には有本建男、社会技術研究開発センター長(当時)、現在、政策科学大学院教授の熱い思い入れもあり、限られた期間で PDCA を廻して所定の実践的な成果を確認してほしいという圧力の下、従来の学術研究とはかなり異なった接近法での研究活動を(正直なところとまどいながら)行ってきた経緯がある。本稿ではそのような研究開発の手法自体の特殊性も示しておきたいとする意図もあったが、読者にそれをうまく伝えることができるとは言い難く、読者諸氏の高察に期するものである。

注：

(1) 科学技術振興機構 (JST) 戦略的創造研究推進事業 (社会技術研究開発, センター長, 有本 建男), 研究開発プログラム「地域に根ざした脱温暖化・環境共生社会, 領域総括, 堀尾正毅」研究開発プロジェクト「快適な天然素材住宅の生活と脱温暖化を「森と街」の直接連携で実現する」, 2009年10月～2013年9月, <http://www.morimachi.net/>

(2) 本稿は本文はすべて自身で執筆したが、取り込まれている研究成果は JST 研究作業の結果である。本論文は著者の単著とさせていただいているが、当初、多数の共著者との連名で発表する予定で作成した原稿をもとに大幅加筆改定して作成したものである。主要な共同研究者、あるいは研究、組織名をここに記し、JST 研究開発プログラムの関係者の皆様に謝意を表する

ものである（所属はPJ当時）。

田中優、相根昭典、柳澤聡子、橋本早苗他：天然住宅

前田拓生：埼玉大学(当時)、現在、高崎商科大学教授

高口洋人及び研究室学生、川崎 正博、小濱 翔馬、橋本 亜沙、倉持 拓也、遠藤 彩和、

川村 圭、保井 孝一、内田 俊平、岡村 幸枝：早稲田大学創造理工学部建築学科

山崎真理子、佐々木康寿、福島和彦、安藤 幸世、他：名古屋大学

中島裕輔：工学院大学

奥田裕之：NPO まちぼっと

大場隆博：栗駒木材

平野直樹：東北職業能力開発大学校

大西 裕二：宮城県林業技術総合センター

(株)アミタ環境認証研究所

堀尾正靱、重藤さわ子、金山晋司、吉川成美：JST 社会技術研究開発センター研究開発プログラム「地域に根ざした脱温暖化・環境共生社会」

山県与志樹：国立環境研究所（JST.PJ 助言者）

(3)バイオマス燃焼を CO₂ 排出異質なしと評価する京都議定書の考え方に従った場合に温室効果ガス排出ゼロ。この考え方については、注⁽³²⁾で再論する。

(4)田中優外岡豊,前田拓生,他：戦略的創造研究推進事業（社会技術研究開発）研究開発領域「地域に根差した脱温暖化・環境共生社会」研究開発プロジェクト「快適な天然素材住宅の生活と脱温暖化を『森と街』の直接連携で実現する」研究開発実施終了報告書，2014.3, <http://www.ristex.jp/result/env/program/index.html>

(5)同じ研究開発プログラム「地域に根ざした脱温暖化・環境共生社会」の研究開発プロジェクト「Bスタイル:地域資源で循環型生活をする定住社会づくり」では自伐林業の可能性を追求することを主要課題とした研究を行った。 ,<http://www.ristex.jp/env/02project/2-12.html>

(6)例えば大阪府の指導林家、大橋 慶三郎が開発した林道と間伐法を応用して自伐林業を行っている徳島県那賀町の橋本林業を見学しヒアリングを行ったが、百年後を見据えた持続可能林業をめざして 100ha 未満の急傾斜地を家族で施業、保全状態も良く経営は安定良好である。

(7)拡大造林とは関東大震災と太平洋戦争の空襲で建築木材が不足したため、また化石燃料の普及により薪、木炭の需要が減少、化学肥料の導入で里山も使われなくなり 1950～1972 年頃、年間 30 万 ha 以上、最盛期には 40 万 ha 以上の造林が行われ、杉、檜の植林がなされた結果、人口林の蓄積量は過去 40 年で 5 倍に増え、現在伐期を迎えている。

<http://www.shinrinbunka.com/datatable/2-1-02.html>

(8)2010 年の造林面積は 2 万 ha 以下で拡大造林最盛期の 20 分の 1 以下に激減している。

林野庁(2012)平成 23 年度森林・林業白書付表, <http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/23hakusyo/pdf/sankoufuhyou.pdf>

(9)中島健造(2011)全国に広がる「土佐の森方式」「自伐林業方式」現場に則し地域に根ざした再生プランを,季刊・地域 2011 春,52-59

(10)例えば内山節(1994)森にかよう道—知床から屋久島まで,新潮選書

(11)そのことは外岡豊(共著),水谷広編(1999)地球の限界,日科技連出版社に初出,外岡豊(共著),岩(2005)社会環境設計論への招待,八千代出版で改訂再論、さらに最新論考として、外

岡 豊：持続可能性と Sustainable を巡って,社会科学論集,第 144 号, 2015(平成 27)年 3 月,特集：「社会科学への招待 2015」,p35-59、その改定補足版は web 掲載 <http://env.ssociety.net/>

(12)1996 年 12 月、シアトル WTO 会合、場外市民集会デモと暴動

(13)“We are the 99 percent”とは 1%の富裕人に対し 99%の貧乏人だと名乗る市民たちが 2011 年 9 月ころ New York の Wall 街近くの公園に結集した運動で、経済ノーベル賞の Joseph E. Stiglitz や評論家で歴史学者の John W. Dower 等も公園を訪れて市民と交流した (TV 報道)。 <http://ja.wikipedia.org/wiki/>

(14)2010 年 7 月、宮崎県内の製材所見学、ヒアリング

(15)例：2012 年 5 月、杉の立木価格は 3,000 円以下、すぎ中丸太 11,100 円/m³、杉正角 105mm, 3m 長,製品卸売価格、42,800 円/m³ (農林水産省木材価格統計調査 2012 年 5 月データ) だが、小売価格例、廉価な 1 面上小節杉正角 105 角, 3 m で 3,568 円/本で m³ 換算 107,876 円/m³,木材流通価格, <http://www.a-forum.jp/m/>

ややデータ年次が古いが、林業、林産業の生産費用について一般の典型的な構成と一気通貫方式の場合の比較を行った結果を図 A に示す。杉製材の販売価格 75,900 円/m³ に対して一気通貫方式ではなんとか赤字を出さないで済む生産費用に抑えることができる。遠藤彩和：国産材需要拡大のための社会技術の提案に関する研究，修士論文 2012 年度,早稲田大学創造理工学部 建築学専攻高口洋人研究室, 2013.3

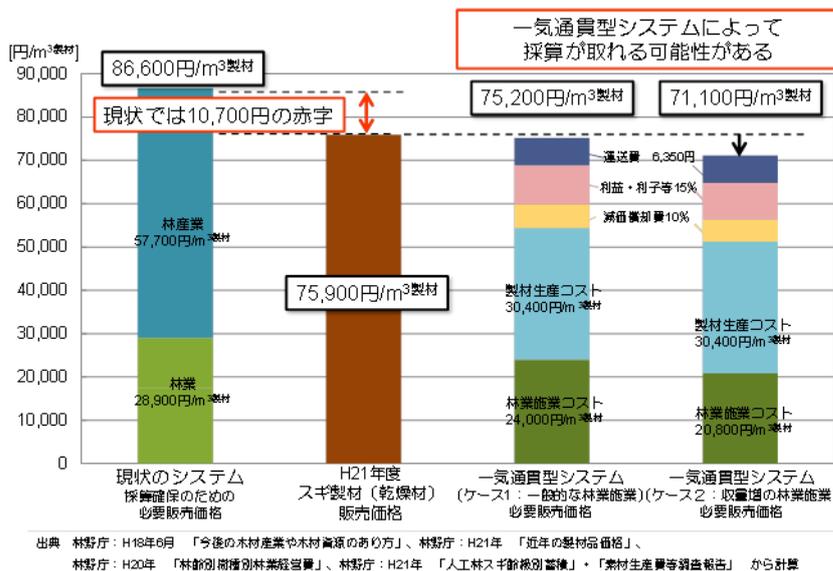


図 A：建築用木材の価格と内訳 やや古い年次のデータ、現在は 10 万円/m³ 以上

(16) 都築知佳,山崎真理子,佐々木康寿：住宅で使用される木材の要求材質分布と愛知県産 45 年生スギの材質分布の比較, 第 61 回日本木材学会大会,京都,2011

(17) 安藤幸世：天然住宅の木材,フォーラム森を守る住まいづくりをー森と街を直接連携するー, 早稲田大学,2012.3.04

(18)根相昭典：快適な天然素材住宅の生活と脱温暖化を「森と街」の直接連携で実現する“天然住宅プロジェクト”,JST.PJ 研究会,2009.10.26

(19)天然住宅バンクとは、天然住宅建資金を融資する小規模低金利市民融資事業。省エネ家電製品購入等、環境優良商品購入全般にも利用できる。<http://tennenbank.org/>

(20)森林、長寿命住宅、健康、CO₂削減をつなぐ認証制度（ミニ・ラウンドテーブル、小規模研究集会）,工学院大学 2012.10.24

(21)天然住宅認証, 2014.3.25 版

(22)この認証制度は5段階の総合評価ランクを公示するもので、評価項目の構成は開示されていない。グリーンビル認証について,安松志郎氏を招き日本建築学会地球環境委員会・公開勉強会（住宅カーボンニュートラル達成シナリオWG企画）2012.8.09 を行った。

(23)川村圭：木造住宅の室内表面積における木材使用量の違いが室内環境に与える影響,卒業論文 2011年度,早稲田大学創造理工学部建築学専攻高口洋人研究室, 2012

(24)建設部門産業連関表の誘発排出量推計：建設部門産業連関表は、10府省庁が共同で作成する産業連関表の基本表（列407分類×行520分類）の投入産出額をもとに、建設部門に特化した区分構成の投入産出額表を作成したもので、建築と土木を合わせて70の建設工事種類別に、労務、資材、設計費、光熱費等、全費用の内訳を把握することができる。70部門のうち建築部門は建物用途別・構造別に27区分に分かれており、うち13区分が住宅である。

この表の投入産出額に一般産業連関表基本表の品目別に推計した誘発エネルギー消費量原単位および温室効果ガス、大気汚染物質の誘発排出量原単位(注25)を与えて再集計し建設部門別に誘発排出量を推計した。表5では建設部門産業連関表に示されている工事床面積を用いて床面積当誘発排出量原単位として住宅部門の一部を抜粋して示した。土木部門を含め投入金額当たり誘発排出量原単位も計算されている。注(25)付属データベースとして公開したものを、その後改定した（建設部門産業連関表自体に異常値があり、それを独自に補正推計した）。

(25)環境産業連関表：産業連関表を用いて生産、消費に伴う環境負荷を推計する分析が行われているが、これらは環境産業連関表と総称され、その指標として誘発エネルギー消費量と誘発環境負荷量が推計されている。日本建築学会では地球環境委員会・建築LCA指針策定小委員会が建築LCAの解析手法を作成し、一連の誘発排出量原単位をweb.siteで公開している。日本建築学会：建物のLCA指針-改訂版,丸善,2013,同ソフトウェア,<http://www.aj.or.jp>公開。日本建築学会推計の環境産業連関表は筆者が開発した計算手法(26)に従い、2005年版産業連関表を用いて推計したものである。表5の建設部門誘発排出量の推計には、その基礎データとして正方404部門基本表に基づく誘発エネルギー消費量と誘発温室効果ガスおよび大気汚染物質誘発排出量を投入金額当原単位として推計した値が用いられている。

(26)本藤 裕樹,森泉 由恵,外岡 豊,神成 陽容：1995年産業連関表を用いた温室効果ガス排出原単位の推計,日本エネルギー学会誌,(81),828-833,2002,同誌論文賞受賞

(27)Tonooka, Y, H. Takaguchi, K. Yasui, T. Maeda, Life Cycle Assessment of Domestic Natural Material Wood House, Energy Procedia, 2014, pp. 1634-1637, DOI : 10.1016/j.egypro.2014.12.313 Peer-reviewed を更に改定した。

(28)外岡豊：日本の排出削減シナリオと都市・建築分野の取り組み,日本建築学会大会（関東）地球環境委員会地球環境部門—パネルディスカッション1,都市・建築分野におけるこれからの地球環境対策—パリ合意に向けて,予稿集,2015.09.06,東海大学湘南校舎

この世帯当排出量は全国の家計用エネルギー販売量から求めた排出量を国勢調査の総世帯数で割り算して求めたもので、家庭用電灯消費量を独自に推計しており、従量電灯Cの20%だ

けが住宅用であると想定している。

(29)資源エネルギー庁：平成24年度エネルギー消費状況調査，（民生部門エネルギー消費実態調査）報告書,2011.3

(30)外岡 豊,高口洋人,保井孝一,前田拓生：国産天然住宅の LCA,エネルギー資源学会研究発表会 32 回,2013.6.6-7

(31)奥村 善直,井上 隆,近田 智也：戸建て住宅の構成部材に係る CO₂ 排出量の簡易推計法に関する研究,日本建築学会環境系論文集 (581), pp103-108,2004.7

(32)バイオマス燃焼のカーボンニュートラル評価 京都議定書ではバイオマス燃料の燃焼を CO₂ 排出ゼロ評価すると定められ、FCCC 気候変動枠組条約においてその後も変更はない。しかし、自然界の植物は空気中の炭素を固定して成長したもので、いずれ腐敗して CO₂ に戻るとしても、燃焼すればその時点で CO₂ が排出されることに違いはない。木材を今、バイオマス燃料として有効利用して燃焼した場合と、木材を建物の部材として利用し 100 年後の解体時に焼却した場合では明らかに CO₂ 排出の時間に差があり、気候変動影響において現時点での排出より 100 年後の排出の方が問題は少ないはずである。このような観点からカーボンニュートラル評価を巡っては議論の余地が残されている。FCCC で認められているからと言って思考停止すべきではない。

(33)このような 2050 年までの温室効果ガス排出削減シナリオをより具体的に策定するに当たり、その前提と成る日本の経済、社会、技術、都市計画、防災、国土利用、政治行政制度、総合的リスク管理手法、文化の維持、人口分布、生活習慣などすべての関連要素について、日本とアジア、世界との関係の中で、できる限り具体的に描写し、その前提の元でエネルギー需給や排出シナリオを描くべく、別途平行して研究を行った（科研費挑戦的萌芽研究）。その成果はまだ十分まとめられていないが、退職後に間をおかず行うべき主要な研究作業の一つである。また気候ネットワークとの共同研究で 2050 年排出削減シナリオを作成した。比較的最近の学会発表例は、歌川学,外岡 豊,平田仁子：2050 年までの排出削減対策の効率化オプション,エネルギー資源学会研究発表会 34 回,2015.6.7

(34)橋本亜沙：森林再生のための林業施業計画と木材需給バランスに関する研究，修士論文 2011 年度,早稲田大学創造理工学部建築学専攻高口洋人研究室, 2012

(35)森の中で牛を飼い、次第に牧草地化しながら山地で酪農する「山地酪農(やまちらくのう)」という方法があるが、それを発展させ、森林の下草刈りを兼ねて森林内に一年中放牧しながら酪農する森林酪農も行われている。これを栗駒の林地で試している。濃厚飼料や牧草の輸入が普及する前の戦前の日本では山地酪農が多く行われていた。自然で滋養に富むおいしい牛乳が得られたという。その手法を現在も普及させようという活動(中洞正)もあり、低温殺菌で脂肪分を破壊しないやり方は木材の低温乾燥ともつながる生産手法で工業化と貨幣経済合理性追求から脱却したやり方を追求する点で同じ方向性を持っている（日経新聞,2012.8.18(土)）。このような生産が多方面に普及することで真の低排出社会が実現されると考えられる。

(36)『森と街をつなげる実践ガイド』38p,2014.3.25

(37)『住まい方アドバイス』50p,2014.4.25

(38)顔の見える木材での家づくりデータベース,<https://kaonomiedb.jp/>

(39)日本建築学会地球環境委員会(2010)2050 年住宅カーボンニュートラル達成は可能かー木造自然素材住宅を例とした PDCA 試行-2010 年度大会（北陸）地球環境部門 PD 資

料,AIJ-1009-01000

(40) 森街再生会議、2104.4.01 設立。全国各地で、それぞれの手法で国産木材を活用した環境優良住宅建設を迫っている人たちがいる。天然住宅だけでなく、多種多様な試みの横の連携を強化したいという志向を継続して持っており、少しずつ交流の輪を広げているところである。

(41) 今後の文部科学技術研究行政の指針検討のため、文理融合のあり方を考える科学技術政策研究所の担当者から、文理融合研究の実践例として意見聴取を受け、文理融合研究の考え方、推進の方法について意見を述べた(2012年春)。この実践的な研究経験が次の文部科学技術行政の展開に活かされることを願うものである。

(42) 毛沢東は実践論・矛盾論の中で「実践は理論より尊い」というレーニンの言葉を引用し実践の重要性について述べている。それは実践の現場には理論にはない活きた総合性が、必ずあるからである。理論ではそぎ落とされてしまうから、その分、価値が欠けているのである。西歐的な分析主義、要素分解主義、二分法的思考を排除し、混沌とした現実をそのまま受け入れて思考する学問があってよい。そこで思い起こされるのは法然、親鸞の思想であり、日常生活と不可分に仏道を迫及した生き様である。京都の町には市民社会が形成され始めていたのであろう。そこで衆生への布教として念仏を始めた法然は危険思想家として朝廷からにらまれ京都にいらなくなり東国で農民とともに過ごした。親鸞も同様にすべてを失って農民とともに働きつつ仏道を迫及した。そこで農作業をしながら到達した悟りの境地は、布教ではなく、親鸞一人のために生きる、という逆説的なものであった。まやかしのない仏道迫及は、己のために真剣に生きるという誰も到達したことがない高みに至った。その法然と親鸞が京都から離れて農作業の体験と真剣な思考から得た境地は、まさに現場の価値を思想に体現するものであったのではないだろうか。それが今なお、日本人の宗教心、善良な市民の祈りに生き続けているのだらうと私は受け止めている。ある時代の誰かの生き様は、後世の多くの人生に綿々と受け継がれるものである。持続可能社会追求の基礎として江戸時代中期の安藤昌益の先進的な思想に着目しているが、さらに遡って法然、親鸞にその基礎を求めることができるのではないかと現在考えており、文献を探っているところである。真の持続可能社会に向けて、実際に社会を動かして行く、その実践への基底となる重要な土台のようなものが日本社会の庶民の生活の蓄積の中にあるのではないかと考えているところである。それは住宅においては伝統構法として、冷房がなかった時代の夏の過ごし方として、何かが受け継がれているはずであり、本研究では、直接に歴史を探求するものではなかったが、並行して行った伝統木造住宅の研究会、(注43)と社会資産としての優良な建築、都市を長期的に実現しようとする研究会(注44)においても、その背景には、このような視点と歴史的な基礎に基づく将来展望があった。

(43) 日本建築学会：伝統的木造住宅の温熱環境と省エネルギー特別研究委員会報告書,2015.3

(44) 日本建築学会：社会的共通資本形成戦略特別調査委員会報告書,2015.1

Summary

Simultaneous Realization of Appropriate Forest Industry and Wholesome Housing – Practice Plan towards Sustainable Society

Yutaka TONOOKA

We have conducted a project "Achieving Climate Change Abatement and Comfortable Life by a Partnership between Forestry and Natural Housing in Urban", which aims to achieve carbon neutral housing to 2050 by linking forest management to the use of domestic wood in urban environmental friendly natural material housing promoted by A NPO named Tennen-Jyutaku,(Natural Housing). This paper introduces the project, its purpose, activity, and related analyses for verification tests. For verification, observation of indoor environment and lumber strength quality with low temperature drying process have been promoted, and we analyzed long period Life Cycle Assessment of CO² emissions from afforestation to demolishing of the housing. To support the penetration of the housing, we have developed a citizen finance system and now developing a certification system of environmental friendly housing, which may put appropriate price for high environmental performance housing in the secondhand housing market.

Keywords : LCA, CO₂ Emission, Housing, Natural Material, Wood, Forestry