

社会技術研究開発事業
平成21年度研究開発実施報告書

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」

研究開発プロジェクト名

「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」

研究代表者氏名 外岡 豊
(埼玉大学、教授)

1. 研究開発プロジェクト名

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

2. 研究開発実施の要約

①研究開発目標

森を守る仕組みとしての、森と街を直結した家づくりビジネスの実現。

■研究概要

100年単位でしか持続性の実現が保証されない森林利用・家づくりのためには、長いスパンの金融の仕組みが必要である。しかし、わが国では、戦後、資金不足の中で、土地担保を中心とした金融が主流となり、その結果戦前に実行されていたプロジェクト金融の能力は失われ、形式的な査定・回収にもとづく画一的な金融となっていた。

この状況と戦い、減価する速度が低く、生活コストが低い住まいづくりによる、価値創造に基づいた長期金融システムを実現することが当プロジェクトの使命である。また、それに必要な建て主と事業者（山も含む）が共同で作るべき住宅の概念と必要な基礎理論を確立する。

以上は、1990年代に行われた新しい地域・生活再生型住宅産業の試みを進化させ、林業・金融・認証を含み、かつ伝統構法やCO2削減、エネルギー自給の視点を加味し、地域特性を生かしつつ全国に普及するモデルを作る新たな歴史的挑戦である。

②実施項目・実施内容

当プロジェクトでは本年度、以下のような研究調査を行った。

- ・ 木造自然素材住宅（研究・実測対象物件）の企画、設計、建設（天然住宅）
- ・ 2050年住宅のカーボンニュートラル実現のためのシナリオ検討（埼玉大学）およびそのライフサイクル評価手法の検討（埼玉大学・早稲田大学）
- ・ 木造自然素材住宅の温熱環境実測計画と準備（早稲田大学・天然住宅）
- ・ 木材乾燥炉の企画・設計（天然住宅）
- ・ 木材性能試験の計画・準備（名古屋大学グループ）
- ・ 「天然住宅バンク」による融資スキームの試行（天然住宅）
- ・ 天然住宅認証制度の基礎設計（天然住宅グループ）
- ・ 中古住宅市場の創設に向けた基礎検討（天然住宅グループ）
- ・ カーボンオフセットの基礎検討（天然住宅グループ）
- ・ 林業の現状理解と復興戦略基礎検討（全員）
- ・ 上記課題を検討するラウンドテーブルの開催と現場見学(全員)

③主な結果

本年度においては、一般社団法人天然住宅が企画・設計を行い着工した木造自然素材住宅での、温熱環境の実測計画を立案し測定機器の選定を行い、建設中の住宅に測定機器と測定結果情報送信機器を組み込む詳細を検討、決定しその準備を行った。木造自然素材住宅の普及シナリオ作成とそのCO2排出削減効果予測については、都道府県政令市別の住宅エネルギー消費量詳細推計データベースを開発し、それを用いて2030年まで

のCO₂排出削減シナリオ分析を試行実施し2050年カーボンニュートラル達成への排出削減シナリオの予備的検討を行った。省エネルギー、燃料転換と再生可能エネルギーの導入などの対策手法の積み重ねで2030年時点でもかなりの排出削減が可能（潜在可能性量として）であることが定量的に確認された。また住宅LCAの評価（ライフサイクル環境評価）についてシステムバウンダリー（評価境界）検討と評価要素指標の検討を行った。住宅に関する現況LCCO₂（ライフサイクルCO₂）分析結果を基礎に2050年LCCO₂カーボンニュートラル達成へのメッセージを確認することができた。

普及のための金融システム、中古住宅市場形成については予備的な調査が主であったが、人工林の現状視察や中古住宅流通市場の現状を調査した結果を踏まえて、天然住宅認証制度の骨子案、および、認証制度の開発スケジュールを策定することができた。

当プロジェクトの重要要素である木材の低温乾燥については既存の燻煙乾燥炉での操業試行とともに新設乾燥炉の企画設計を行い、いくつかの具体的な設計課題について詳細な検討を行い、設計案を煮詰めることができた。

また、木材の性能試験については栗駒地区において、名古屋大学・天然住宅・東北職業能力開発大学校チーム・宮城県林業技術総合センター・現地協力者の共同作業により、実験材料の準備方法、試験場までの搬送方法、クリープ試験、実大強度試験の手法、実施手順および無欠点小試験片の作成方法などについても具体的な検討ができ、次年度以降の調査研究の準備が整った。

また関係者全員が集まってラウンドテーブルと現場見学会を行い、研究企画の具体化について相談し、4年間のプロジェクトの目的や推進手法に関して認識の共有化を図るとともに、研究対象への共通理解を深めることができた。とくに栗駒山合宿では林業と林産業の現場を見学して、それを踏まえて日本の林業における問題点と復興の可能性とそれへの戦略について全員で徹底討論を行い、実践的な視点から課題への理解を深めることができた。

3. 研究開発実施の具体的内容

(1) 研究開発目標

2050年に実質CO₂排出なしの住生活を実現させるため、国産木材と木質バイオマス燃料を活用した住宅と生活のあり方を提示するとともに、ここで提案される天然素材住宅の普及にとって必要となる市場・仕組みを開発し、実際に当該市場・仕組みを稼働させることを目的とする。

さらに当プロジェクトで提案する天然素材住宅の普及や新たに創造される市場・仕組みにとって、障害となり得る法制度等については、Roundtableを設け、広く多くの人々を巻き込んだ議論の中から、「2050年に実質CO₂排出なし」の社会へ向けての制度変革等を模索していくつもりである。

(2) 実施方法・実施内容

国産木材と木質バイオマス燃料を活用した住宅により、2050年に実質CO₂排出なしの住生活を実現させるためには、国内の林産業の活性化、および、木造住宅の長寿命化が必要であると同時に、住宅を資産として流転させるための中古住宅市場の存在が欠かせない。

1) 天然住宅グループ

■ 天然住宅グループの研究課題

そこで天然住宅グループでは「①中古住宅市場におけるファイナンス制度の開発」「②中古住宅市場の創設」「③長寿命で健康的な住宅のための認証制度の開発」「④住宅における一般家庭排出量を基準とした『カーボンオフセット』の仕組みの模索」について研究開発を行う。

■ 天然住宅グループの2009年度の実施内容

2009年度ではそれぞれ以下のように予備的な研究調査を実施した。

① 中古住宅市場におけるファイナンス制度の開発

新たなファイナンス制度を開発するため、NPOバンクである「天然住宅バンク」を利用して、中古住宅市場におけるファイナンス制度を視野に入れた融資スキームを確立するとともに、実際に融資の実行に向けての開発を行った。

② 中古住宅市場の創設

上記の新たなファイナンス制度を創設することにより、「資金繰り」という意味での危機はある程度解消されるだろうが、これだけでは根本的な解決にはならない。林業が産業として自立していくには木材の消費が増加していく必要があり、特に「スギ材」の消費を増やす必要がある。

そのような観点から国内の木材消費量を分析すると、森林資源成長量は拮抗していることがわかる。しかし、実際に国内で伐採利用されているのは30%程度に過ぎない。その主な要因は、国産スギ材の出口が欠落しているため、産業として成り立っていないことから生産性も低く、輸入外材の価格競争力に勝てない状態になっていることが原因として上げられる。そこで「国産スギ材の出口」として国産木材と木質バイオマス燃料を活用した住宅の普及が大切になってくる。

しかし現状では、木材の耐久性等について深く分析されていないことから、木造住宅における「長期優良住宅認定」に問題があり、その点の是正が求められる（この点を克服するために、当プロジェクトでは下記に記述したように木材物性等について実測を行う予定）。さらに日本においては「中古住宅流通市場」がほとんど成立していないことが大きな問題になっている。中古住宅流通市場が存在しない要因としては、長期使用可能な住宅を建設であっても、住宅の耐久性に関係なく、会計上18年で住宅（上物）の価値評価をゼロにしてしまうことが考えられる。住宅（上物）の価値評価がゼロである場合、中古住宅の価値は土地だけの評価になってしまう上に、価値のない建物は取り壊し更地にした方が、土地そのものの評価が上がるので、住宅を「資産」として流通される市場が成り立たなくなっているようである。そのため住宅購入者としては「長期使用可能」ということによる追加的な費用が回収できる見込みがないため、新たな安普請な住宅建築が続いていくことにつながる。この二酸化炭素排出量は莫大なものとなる。現時点で木造住宅は30年ほどで取り壊されているので、建物の排出する二酸化炭素は30年で分割したものが、単年度当たりの排出量になる。

このような悪循環を断ち切るには、中古住宅に対する「価値付け」であり、そのための仕組みを開発することにある。そこで中古住宅市場の実態調査のため中古住宅の

市場性についての文献調査を行った。

- ・ 国土交通政策研究（2006年）「住宅の資産価値に関する研究」『国土交通政策研究 第65号』¹
- ・ 優良ストック住宅推進協議会 [スムストック] <http://sumstock.jp/>

③ 長寿命で健康的な住宅のための認証制度の開発

国土交通政策研究（2006年）の中古住宅市場に関するアンケート結果によれば、ニーズが高い物件は、住宅の場所が大きなファクターになる他、建物単独では、可変性、環境性能、耐震性・耐火性、メンテナンス性などに大きな比重が置かれている。そこで「可変性、環境性能、耐震性・耐火性、メンテナンス性など」に比重を置いた「住宅認証」の仕組みが求められる。そこで国内外の既存の認証制度についての調査のため、住宅認証制度についてはLEED、CASBEE、Energy Starを、森林認証制度についてはFSCをそれぞれ調査した。規格文書やウェブページから、各認証制度の内容を理解した。

ここでLEED、CASBEE、Energy Star、FSCは表1の通り。

表1 LEED、CASBEE、Energy Star、FSCの説明

LEED	Leadership in Energy and Environmental Design. アメリカのNPO組織であるU.S. Green Building Councilが運営している、グリーンビルディングの認証制度である。1998年から開始されている。主にアメリカ国内で展開されているが、世界のどの国においても認証を受けることが可能である。省エネルギー、効率的な水利用、CO2排出量削減、室内環境の改善、資源や外部に与える影響の管理など建築物の全ての項目にわたる性能の改善を目指している。
CASBEE	Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency」(建築物総合環境性能評価システム)。国土交通省の主導の下に、(財)建築環境・省エネルギー機構内に設置された委員会において開発が進められている。2002年から開始されている。省エネや省資源・リサイクル性能といった環境負荷削減の側面はもとより、室内の快適性や景観への配慮といった環境品質・性能の向上といった側面も含めた、建築物の環境性能を総合的に評価するシステムである。
Energy Star	アメリカ環境保護庁とアメリカエネルギー省が提供する、省エネ性能を評価するプログラムである。1992年に開始され、現在世界7カ国・地域で実施されている。日本ではオフィス機器に対してのみ適用されているが、アメリカでは様々な電化製品に加え、住宅改修、新築住宅、ビル、工場など、建築物に対しても適用されている。
FSC	Forest Stewardship Council (森林管理協議会)。FSCは1993年に設立された国際的なNPO組織である。現在はドイツのボンに本部をおいている。FSC認証とは、環境面、社会面、経済面において責

¹ 国土交通省国土交通政策研究所 前主任研究官 長野 幸司 主任研究官 頼 あゆみ 前研究官 渡瀬 友博 研究官 宇杉 大介 <http://www.mlit.go.jp/pri/houkoku/gaiyou/pdf/kkk65.pdf#search>

	任ある森林管理を認証するFM（森林管理）認証、およびその森林から産出される製品の明確な識別管理を認証するCOC（加工流通過程の管理）認証からなる。世界中の森林管理者および加工流通業者を対象としており、日本においてもFM認証、COC認証ともに年々認証取得件数が拡大している。
--	--

④ 住宅における一般家庭排出量を基準とした『カーボンオフセット』の仕組みの模索
「カーボンオフセット」可能な事例、可能性を知るため、市場で販売可能なカーボン量の計算、及び、カーボンオフセットの仕組みについての調査を行った。

- ・ 日本カーボンオフセット <http://www.co-j.jp/checkco2/international/>
- ・ 國田 かおる（2008年）『カーボン・オフセット—自分の出したCO2に責任を持つしくみ』 工業調査会

2) 名古屋大学・栗駒グループ

■ 名古屋大学・栗駒グループの研究課題

国産木造住宅市場の拡大により国内林業を活性化させるとしても、現状、輸入木材の価格競争力に打ち勝てる状態にはなく、むしろ、後10年経たない間に人工林自体が崩壊しかねない状態になっている。

そこで名古屋大学・栗駒グループでは、国産林産物の評価と付加価値の探索を行う。国産林産物の置かれた様々な阻害要因を考え、これを乗り越える方策に対して科学的実証を付すことを目的とする。

■ 名古屋大学・栗駒グループの2009年度の実施内容

2009年度においては、第三回ラウンドテーブルとして、山間部地域において林業・林産業の現場見学、地域関係者との懇談により、現在の山間部地域と林業・林産業の実状、抱える問題を関係者全員で共有するとともに、様々な立場の視点から復興の足がかりとなる特長・戦略を探索した。

■ 人工林（宮城県栗駒）の現状視察（第三回ラウンドテーブル）

宮城県栗駒山間部地域において林業・林産業の現場見学、地域関係者（業界関係者、行政、県林業センター、地域住民など）との懇談により、現在の山間部地域と林業・林産業の実状、抱える問題を具体的に把握した。

① 栗駒地区の森林組合の現況（大崎森林組合）

i. 大崎森林組合の概要

大崎森林組合は、平成10年に四つの森林組合が合併して設立。組合員数は3500人であり、法人格を有する。出資金は1億7千300万円であり、県内で一番大きな森林組合である。

ii. 事業内容と現状

個人で伐採している組合員はほとんどいない。森林組合では、作業道作りから造材までのいわゆる素材生産業務も行っている。作業班は常用雇用で30名ほど。

造材を積み込む作業や、山林からの運搬業務に関しては業者が受け持つ場合がある。現在、森林組合が出した材（主伐も含め全て）について、原木市場経由のシェアは全体の5%程しかなく、90%程が合板工場（2番目に良質な材）に、残り5%程が製材工場（最も良質な材）へ直販される。扱う樹種としてはスギが大半。生産性は現在6m³/人日。

iii. 事業の採算性

主伐の場合、補助金が出ず、標準的な森林所有者の利益は売り上げの1/4から1/3程である。林齢55年のスギ1haあたりの収益は、50万円程にしかならない。間伐の場合、主伐に比べて出てくる材積が事業面積の割には少なく、また作業効率の差により伐採費用が高いため、精算上、森林所有者の利益がマイナスになる。この問題に関しては、国や県の政策により、補助金で補填しているのが現状である。間伐は手入れが目的であり、収入目的ではないと考えられている。

② 栗駒地区の林業の現況（株式会社栗駒木材・エコラの森）

i. エコラの森の経緯

バブル崩壊後、当時山を所有していたリゾート会社が倒産。産廃業者により産廃処理場を作る計画が立ち上がったため、山の危機を感じた栗駒木材が、銀行の融資により購入。購入時には270ha中100haが盗伐されており、ひどい状態であった。当時、客である工務店と協同してNPO『エコラ倶楽部』を作り、山への恩返し運動として植林活動をしていたため、乱伐されたこの山について毎年植林をしていくこととなった。社員はボランティアで植林しており、会社の持ち出し分も多く大変ではあるが、現在も継続している。

ii. エコラの森の特長

この山は栗駒木材が購入し、エコラ倶楽部に貸している。この山で年数が経っている木は山の地形に合わせた植林がされている。全部スギを植えるのではなく、上の方急斜面に広葉樹林、沢辺にスギ、中間部分にヒノキ、峰の荒地に松を植えている。下方には熊が来るため、クリ（餌代わり）を植えている。こういう複層林化した林業を循環させて、次世代にも継続させていきたい。

iii. 森林復興への取組み

地元と共生した森づくりを目指している。例えば栗駒木材に来客が訪れた場合などには、地元の旅館を勧めるなどの工夫している。

植林で大変なのは林地残材の除去による地ごしらえである。伐採と植林を異なる業者が担当するから、伐採側は林地残材を放置していく。伐採する側が植林まですれば、植林経費も下がるし、林道も植林を計画したものができる。このように繋がった林業をしないと本当の山の活性化にはならない。栗駒木材の場合はチップ工場があるため、残材をできるだけ工場に持って行き、工場で切るようにしている。林地残材ペレットが燃料になる。ペレットが事業として成り立てば、森が変わってくる。

③ 栗駒地区の林産業の現況（株式会社栗駒木材）

i. 燻煙乾燥について

通常燻煙乾燥は10 - 14日、70度まで上がらない程度の温度の下、含水率およそ30%程度に低下するまで行う。燻した後は、天日乾燥にて構造材の場合、3ヶ月程自然乾燥させて含水率25%程度まで、柱材の場合は20%程度まで落とす。生材をそのまま天日乾燥した場合、希望の含水率まで低下するのに半年では利かず1年程度要するため、多量の在庫を持たねばならず、会社を維持できない。

燻煙乾燥プラントの利点は、1度にたくさん乾燥できる(100 m³)、化石燃料をあまり使用しない、抗菌性を付与できるなどが挙げられる。また、木材を乾燥することによって生じるひずみが少なくなると言われている。

ii. 問題点と課題

現金購入である丸太から、製品化して現金を回収するまでに非常に長い期間を要するので、在庫を多量に持たないと商売ができず、大変である。これは乾燥に多大な時間を要することが原因なので、木材に負担をかけず、いかに早く乾燥できるかどうかがかぎとなる。また、以前は紙の原料であるチップで稼いでいたが、現在は紙がなかなか売れないため生産調整に入っている。

■ 人工林への融資スキームの策定

宮城県栗駒の視察により、人工林の現状を調査したが、このままでは持続可能性が低く、資金的にもいわゆる「自転車操業」化していることがわかった。

そこでNPOバンク²である天然住宅バンクを利用して「コモنزの森出資」という新たな融資スキームを考案した。これは協力団体である栗駒木材が購入している「エコラの森」に融資し、これを出資者全体の共有の森としていくプランである。

「エコラの森」はそもそも倒産した会社の持ち物だったために盗伐され、さらに産業廃棄物業者の処分地にされかかった森であったが、これを栗駒木材が買い取ったものである。しかし現状、経営的にとって、大きな負担になっているので、現在、再生のために手間をかけている栗駒木材の労力と、天然住宅バンクの金利とを相殺し、無利子で融資していくスキームが「コモنزの森出資」といえる。これに共感してくれる人たちから出資を募り、融資を実現して林産地の負担を軽減させるとともに、出資を広げていくことになる。

3) 埼玉大学・早稲田大学グループ

■ 埼玉大学・早稲田大学グループの研究課題

² NPOバンクとは、日本で市民自身によって作られる、主に非営利で融資事業を行う金融機関のことである。天然住宅バンクはこの「NPOバンク」としての形態で設立された金融機関であり、主に天然住宅、及び、天然住宅で住宅を建築する人々に対する資金的な支援を目的に、融資スキームを作り、現実に住宅購入時の「つなぎ融資」を実行、他にも「健康・断熱リフォーム」に対する融資も実行している。とはいえ、設立間もないこともあり、住宅市場そのものに対する融資スキームを展開していくためには、さらに多額の出資額が必要になる。

しかし、この天然住宅バンクのような、市民設立の住宅専門金融機関が、広く各地で設立さえしていけば、住宅市場の形成、購入時の融資、低炭素型住宅に対する低利融資が可能になる。

木質住宅の場合、その他の素材住宅（RC素材など）に比べて「夏は涼しく、冬は暖かい」という体感を持つ住人が多い。これが科学的に立証されれば、木質住宅を普及させることで冷暖房に係るCO2排出を抑えることが可能になる。

そこで上記を科学的に立証するため、埼玉大学・早稲田大学グループでは以下の研究開発を予定している。

① 実験住宅設計実測

天然住宅及びアンビエックスで設計、建築した省エネ自然素材住宅『集合住宅K』（東京都内）2戸と戸建住宅3戸（東京都内を検討）を対象に、木造住宅部分とRC住宅部分の詳細な実測と計量を行い、居住環境について詳しく分析を行う。温熱環境については、温湿度、グローブ温度、室内風速、換気回数、内壁表面温度、壁内温湿度、壁材含水率、壁面熱流、窓面熱流についての実測を行い、エネルギー・水消費量については、高機能分電盤を設置することにより電気消費量、ガス消費量、ペレット消費量、給水量、給湯量を用途別に分析する。

また、上記実測対象住戸におけるLCEならびにLCCO2調査、解析を行う。調査結果を基に、住宅の建設、改修、除却、再利用（Recycle）、再使用（Reuse）にかかるエネルギー消費量、住民の生活時のエネルギー消費量、バイオマスや太陽光等のカーボンニュートラル型のエネルギー消費等を考慮し、LCA評価を実施する。

② 超低排出住宅仕様策定

上記、省エネ自然素材住宅の設計・実測データを基に、超低排出住宅仕様の基準策定を行う。仕様は技術レベルの進展と共に随時見直しを行い、最終年度にはデータベースとして公開する。

③ 住宅を例にした持続可能社会化への実践総括

上記、省エネ自然素材住宅において導入する国産良質木材建材を例に、住宅建設に供給される国産林産材量の増加を促し、林産業から持続可能社会化を実践する。

■ 埼玉大学・早稲田大学グループの2009年度の実施内容

まず最初に、環境負荷低減を目的に過去建設された実験住宅に関する既往研究を収集し、レビューを行った。ここで取り上げたのは、早稲田大学が建設した「完全リサイクル型住宅」、北海道大学が建設した「ローエネルギーハウス」、建築研究所が建設した「自立循環型住宅実験棟」、九州大学が建設した「SRB・DUP実験住宅」である。これらの知見を受け、次に集合住宅Kにおける計測計画を立案した（図1）。

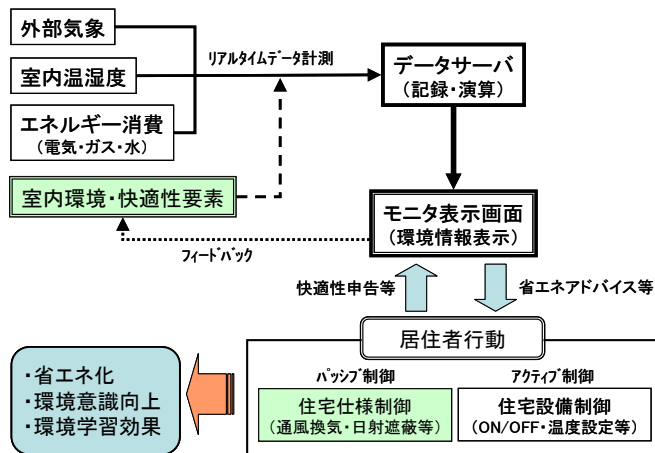


図1 システム概念図

計測項目は以下の通りで、それぞれ計測を予定している

- ① 一般的な室内の快適性の確認として、室内温湿度（Thermo Recorder、ESPEC）及びグローブ温度（Thermo Recorder、ESPEC）
- ② 室温が高い(夏)、低い(冬)における快適性の確認として、室内温湿度、グローブ温度、内壁表面温度（サーモカメラ）
- ③ 冬期の結露が発生状況について、室内温湿度、窓近傍の温湿度、窓・窓枠の表面温度（熱電対、江藤電気）、窓面熱流（熱流センサ、江藤電気）、壁内温湿度（温湿度センサ、江藤電気）、壁の透湿性（木材含水率センサ、コーナ）、壁面熱流（熱流センサ、江藤電気）、気密性（JIS対応型機密性測定器、コーナ）
- ④ 栗駒燻煙乾燥木材の材性能として、壁内温湿度（前出）、壁の透湿性（前出）、内壁表面温度（熱電対、江藤電気）、外壁表面温度（熱電対、江藤電気）、壁面熱流（前出）

なお、④については実験室における吸放湿性の性能試験を予備実験として行い、有意な差が生じた場合には実施することとした。また、屋外計測機器については、SEC社製のウェザーバケットを使用し、外気温湿度・日射量・風向・風速・雨量を計測予定である。さらに住宅内の電力消費量、ガス消費量、上水・温水消費量については、因幡電機の高機能分電盤AEMgrapherを使用し計量することとした。このAEMgrapherから得たエネルギー関連データと室内温熱環境、屋外環境のデータを組み合わせ、居住者の環境行動を誘導する環境情報メディアの基本情報とする。

この環境情報メディアの開発には、工学院大学が開発した「エコライプス」の技術

を応用する。エコライブスは住宅を取り巻く環境や消費エネルギーを分かりやすく表示すると共に、それらを分析してその時々に応じた適切な省エネアドバイスを提供し、環境に対する様々な居住者の「気付き」を高めることを目的としている。

元システムでは、電力消費量など、計測機器を追加する必要があるが、AEMgrapherを活用することにより、一括してデータを入手でき、エコライブスより簡易にシステムを構築できると考えている。

現時点では、集合住宅Kにおける実測住戸をRC造1戸、木造1戸の計2戸と決定し、詳細な計測計画を立案中である。

また、住環境、住宅性能の実測と平行して、当プロジェクトによる対策種類別削減（潜在可能）量を定量的に評価する必要があるが、この点についても既往のデータベース（表2）を用いて試行的な分析を行う。

表2 対策種類別削減量の定量的評価についての既往のデータベース

伊加賀 俊治	輸入木材のLCAデータベースの構築 建築学会技術報告集投稿論文 2010年6月
ウッドマイルズ研究会	建設時における木造住宅の二酸化炭素排出量－木材製造時のCO ₂ 排出量と住宅の構法別CO ₂ 排出量－ ウッドマイルズ研究ノート（その18） 2008年3月
尾島 俊雄	完全リサイクル住宅で使用された建材の循環系で消費されるエネルギー量に関する研究 日本建築学会九州支部研究報告 第41号 2002年3月
渡辺 俊行	地中熱を利用する省エネルギー住宅のLCA 日本建築学会環境論文集 第73巻 第625号 401-408 2008年3月
清家 剛	木質系建材の環境評価のための基礎研究 日本建築学会大会学術講演概論集（九州） 2007年8月
小林 謙介、井上 隆	戸建て住宅のライフサイクルにおける環境負荷に関する研究 学術講演概論集891-894 2006年7月
吉野 博	家族形態の変遷を考慮した住宅における省エネルギー手法のLCA評価 日本建築学会東北支部研究報告会 2005年6月
石川 孝重	木造戸建住宅の地球環境負荷量の算定に関する調査 日本建築学会大会学術講演梗概集 2004年7月
浅野 良晴	木造住宅建設時の環境負荷原単位に関する研究 日本建築学会学術概論集 2008年9月
浅野 良晴	実測調査に基づく高断熱・高气密住宅の建設から運用までのCO ₂ 排出量 日本建築学会環境系論文集 1435-1441 2008年12月
尾島 俊雄、高口 洋人	木造住宅と森林資源の日本型循環モデルの構築に関する研究 日本建築学会計画系論文集 第544号 85-92 2001年6月

(3) 研究開発結果・成果

1) 新たな住宅認証制度の骨子案、及び、その開発スケジュールの策定

本年度は予備的な調査が主であったが、人工林の現状視察や中古住宅流通市場の現

状を調査した結果、木材供給地である林産業（宮城県栗駒）から住宅需要地である都会（東京都及び首都圏）までを一気通貫でマネージメントする住宅認証制度（天然住宅認証制度）の構築が必要であることが明らかになり、現状を踏まえて、天然住宅認証制度の骨子案、および、認証制度の開発スケジュールを策定した。

■ 新たな住宅認証制度の必要性と骨子案の策定

現状の住宅認証システムは「オフィス向けのもの」「周囲の環境や環境負荷に重きが置かれすぎるもの」「単に住居のメンテナンス性のみになっているもの」が多く、健康的な側面からのアプローチが十分ではない。住宅の転売時を前提に20～30年先の将来を考え合わせると、アトピーや化学物質過敏症などが激増しつつある現状により、化学物質管理も重要な要因として考える必要があるだろう。

また「森林認証」は森林の管理方法とそこから産出される木材の識別管理のみに焦点を当てた制度であり、製造時や使用時の化学物質に関する項目がない。

以上から、新たな「森林認証」と「化学物質管理」を含んだ「住宅認証」が必要と考えられる。そこで天然住宅グループでは住宅認証システムについてのワークショップをつくり、独自の認証制度を作成することにした。このワークショップの議論により、認証制度（天然住宅認証制度）の骨子案が完成した（表3）。

表3 天然住宅認証制度の骨子案

①素材（木材など）に対する認証	素材のトレーサビリティ（CoC）が図られているか
②施工者に対する認証	使用できる素材のみで建築されているか 建築そのもの、及び、室内のクリオティは基準以上であるか
③住宅そのものに対する認証	<居住性能>
	電磁波・有害ガスは使用不可 耐久耐火・素材物性について基準以上であるか 構法（基礎工事等）は基準以上であるか
	<外部環境>
	放射能や公害等、居住者の健康に問題ないか
	<エネルギー環境（脱CO2対策）>
④山側の認証	労働生産性を向上させる取り組みとその管理 山側へのリターンを考慮（外部不経済の内部化）しているか否か

（注）ノーマライゼーションについては「可変性」をプラス評価

表3の天然住宅認証制度（骨子案）をもとに、実際に住宅を認証するプロセスを図解してものが、図2である。

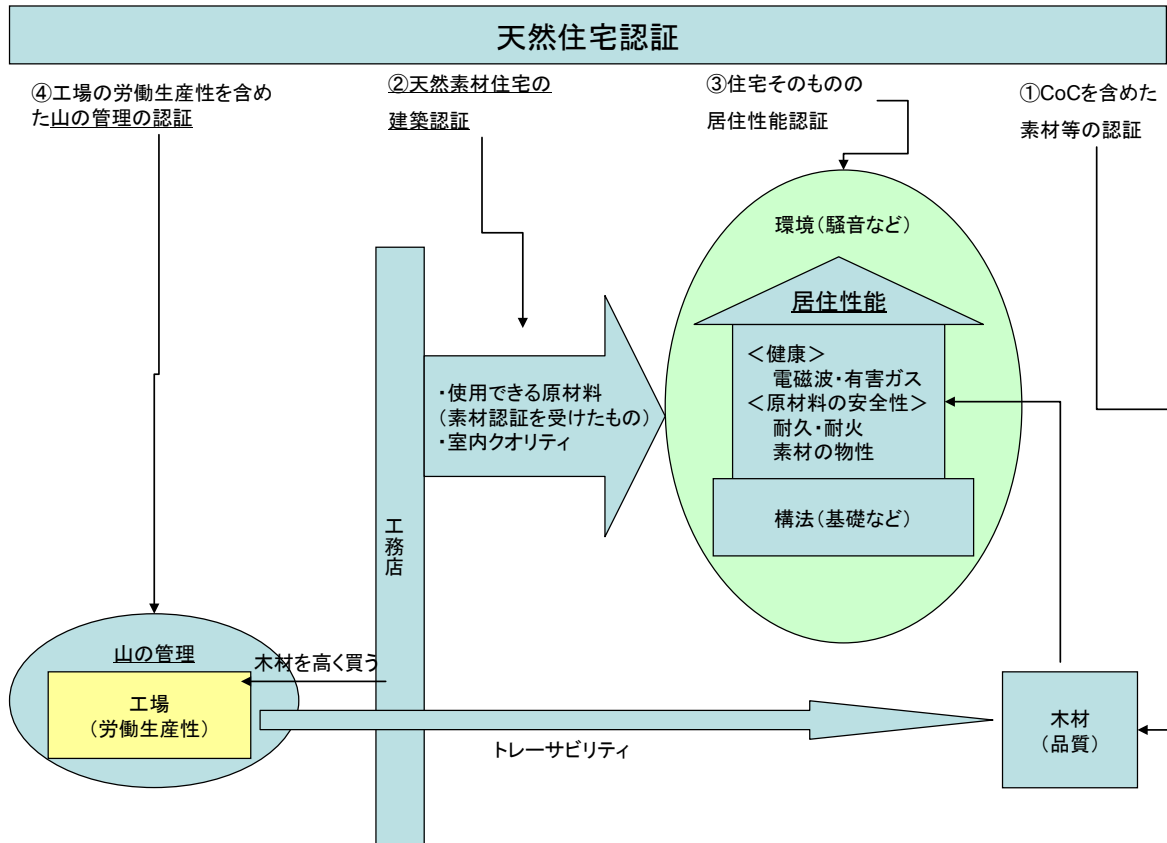


図2 天然住宅認証制度のイメージ図

ここで目指すべき住宅は「長寿国産木材住宅（耐久性が高く、日本国内で生産された木材を使用した住宅）」である。したがって、「住宅建材（木材など）のトレーサビリティがしっかり管理されているか否か」が重要になる。そこで①素材に対する認証を行う。また、実際に「①で認証を受けているような素材だけを使用して施工されているか」「建築そのもの、及び、室内のクオリティは基準以上であるか」も重要となる。そこで②施工者（工務店等）に対する認証を行う。ここで認証にあたり評価基準についてもワークショップで議論し、骨子案をまとめた（表4）。そして、長く住む家だけに人体に危害が及ぶような環境（居住環境）にないことも重要な要件となる。そこで③住宅そのものの（素材自身、および、建物全体の耐久性を含む）認証を行う。

表4 天然住宅認証制度における設計・施工者向けの評価基準（骨子案）

以下の項目は、営利非営利を問わず、公開・利用をめざす。

評価項目	備考
①敷地	LEEDの項目参照する
②水の利用	LEEDの項目参照する
③エネルギーと室内	LEEDの項目参照する
④原材料	LEEDの項目参照する、優良モデル化
⑤室内のクオリティー	LEEDの項目参照する
⑥教育	LEEDの項目参照する
⑦居住性能	電磁波・有毒ガスについて 外部環境について、 構造について、 木材の物性について、 など
⑧構造	A;耐震性
	(現実的でない初期微動ではなく、倒壊しない性能で評価する)、耐火性能(素材の有害ガス問題、アルミサッシの溶融問題を含む)、木材の物性(材料)
	B;構法、 基礎(造り)
⑨循環性	持続性、フェアトレード（労働生産性の向上、合理化）
⑩可変性	ノーマライゼーションは「可変性」で評価
⑪外部不経済の内部化	（下記「外部不経済の内部化の考え方」を参照）

*①～⑥はLEED認証の項目をアレンジしたもの。⑦～⑪は天然住宅認証として新たに設けた項目。

*LEED認証とは、アメリカのNPO組織であるU.S. Green Building Councilが運営している、グリーンビルディングの認証制度である。

加えて、国産木材が継続的に供給されるためには、日本の人工林の管理が必要となる。そこで④山側の認証（労働生産性を向上させる取り組み等を含む）を行う。なおここで、輸入木材のために国内木材が「持続可能な生産価格にならない」という「外部不経済」が生じることから、天然住宅認証では「持続可能な生産価格以上の価格で買う」という項目を加えることにより「外部不経済の内部化」を図る（図3）。

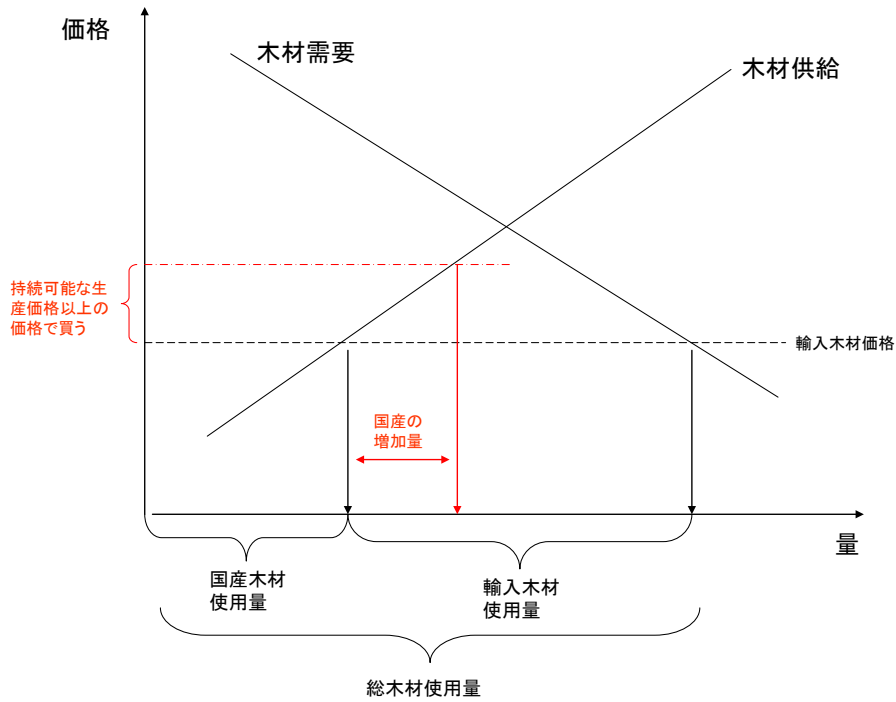


図3 外部不経済の内部化の考え方

■ 天然住宅認証策定のスケジュール案

2009年度の準備調査を経て、2010年度では、LEED認証及びFSC認証を参考に、有害化学物質を排除するための項目等を独自に挿入した天然住宅認証を策定する予定である（但し、この認証はFSC認証と競合するものではない）。また、中古住宅流通市場にとっては中古住宅融資制度が欠かせないものの、現状の天然住宅バンクにおける資金量では対応が困難であることから、天然住宅バンクの資金量拡大を同時に図っていく予定である（図4）。

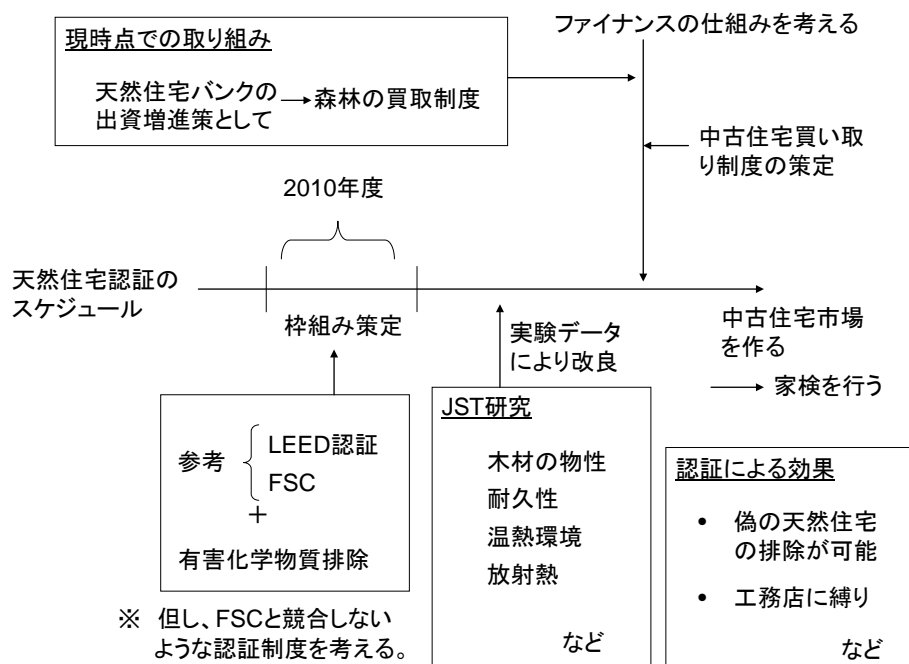


図4 天然住宅認定策定のスケジュールイメージ図

このように2010年度研究開発では、主に「仕組み」、及び、その仕組みを支える天然住宅バンクの資金拡大に注力することになるが、認証制度における評価項目は、名古屋大学の木材物性等の実測結果、及び、埼玉大学・早稲田大学の温熱環境の実測結果により、修正が必要になってくる。各大学の实測結果による認証評価項目の見直しは、主に2011年度以降に行う予定であるが、内容によっては、適宜、修正を施すことになる。

2) 材料性能試験の計画立案（名古屋大学グループ）

名古屋グループが実施する材料の性能試験について、プロジェクト参加者全体で内容（実験目的、方法、評価項目）の理解を深め、以下の経緯により、木材の物性に関する実験計画を行った。

① H21年度経緯

- i. プロジェクトの採択が決定し、木材物性の実証実験に携わるメンバーの枠組決定
 - ・ 東北地区で実験を実施した方がコスト的にも、これまでの東北地区材への知見からも、妥当と結論。
 - ・ 宮城県林業技術総合センターとの協力体制、契約方法を模索。

- ii. 新しく開発しようとする超低温乾燥について、以下の点の実証実験を行うことを確認（申請段階で計画した内容）
 - ・ 高温乾燥に対するエネルギー的優位性を具体的に数値化
 - ・ スギの特徴（乾燥しにくい）に対して、使用上問題がない乾燥法であるか検証
 - ・ 含水率の把握（乾燥法の妥当性を検証）
 - ・ 超低温乾燥によって乾燥させた材が、異常変形を起こさないか、クリープ試験により実験的に検証
 - ※十分な乾燥がなされていないと、たわみ量が大きくなる危険がある
 - ・ 超低温乾燥によって乾燥させた材が、100年後にたわみ量がどの程度になるかを、クリープ試験により実験的に検証
 - ・ 最近、業界でも高温乾燥材のデメリット（材質の変化）が指摘され始めており、これに対して、超低温乾燥材の優位性が数値化できるか検討（化学分析、無欠点小試験片による標準試験、破面観察）
 - ※材質の変化は、接合強度や材料の耐久性に影響を及ぼす可能性がある。
 - ・ 材料の耐久性については、材質的な観点（化学分析、無欠点小試験片による標準試験、破面観察）から、高温乾燥材、超低温乾燥材、古材の比較により、何らかの評価を出来ないか。

- iii. 上記実証実験を行うために、1で構成した実験メンバーの役割分担、物品分担、実験日程の計画をした。
 - ・ 乾燥機を新たに作成しなければいけない
（申請段階では、既存の乾燥機の利用を考えていたが、更に改良を加えた乾燥法で実験を行うことになり、乾燥機を新たに作ることにした。）
 - ・ そのために、実験段取りを、申請段階のものから変更。当初予定では、H21年度中にクリープ試験の実施を考えていたが、H22年度スタートとした。
 - ※木材実験の観点からは、クリープ試験→実大静的試験（クリープ試験の基準値を決めるもの）より、実大静的試験→クリープ試験の方が順当であり、段取りの変更はむしろ望ましい。

② 本事案について、木材科学分野で既に明らかにされている現象、木材産業分野の動

向を記す。

i. 木材の含水率と強度特性の関係

木材の含水率は強度特性に影響を及ぼし（図5、6）、例えば含水率が増加するとヤング率は低下し、外力に対して変形しやすくなる（図表6）。この場合、含水率の多少により、強度変化の傾向は異なることが知られており、繊維飽和点（含水率が約30%付近）以上の含水率であれば、水分の多少の影響は受けない（すなわち、強度性能は低いままである）（図5）。繊維飽和点以下になると、含水率の低下とともに、強度性能は比例的に増大し、含水率4%程度で最も高くなるといわれている。

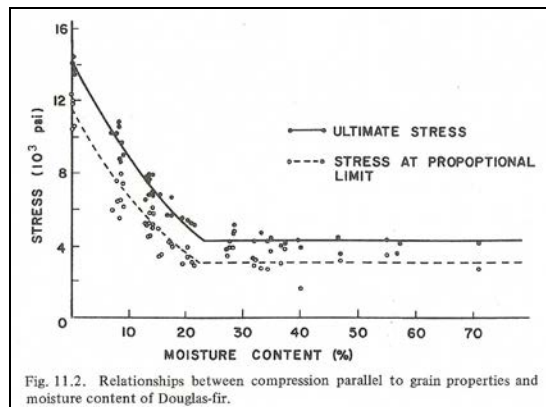


図5 含水率が木材強度に及ぼす影響³

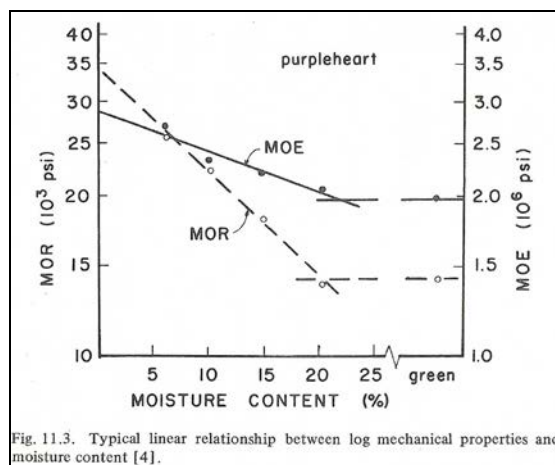


図6 含水率が木材の曲げ強度（MOR）と曲げヤング率（MOE）に及ぼす影響⁴

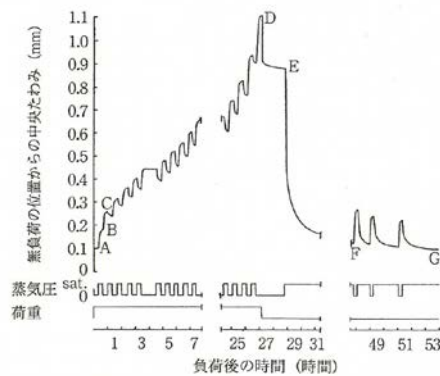
³ 出典：Jozsef Bodig, Benjamin A. Jayne: Mechanics of Wood and Wood Composites, VAN NOSTRAND REINHOLD COMPANY, 1982, p.550

⁴出典：Jozsef Bodig, Benjamin A. Jayne: Mechanics of Wood and Wood Composites, VAN NOSTRAND REINHOLD COMPANY, 1982, p. 551

ii. 木材利用における「乾燥」の重要性

このように木材の水分状態（含水率）は、強度性能にも影響を及ぼすので、使用の際には乾燥させることが重要である。また、未乾燥のまま木材を使用すると、強度性能のほかにも、水分の吸放湿に伴い、寸法変化・形状変化を引き起こし、使用上の障害となる場合が出てくるので、木材の乾燥は重要である。

特に、未乾燥材を建築構造のはり材として使うと、使用中の環境（湿度）変化に伴い、はり材のたわみが増減するというメカノソープティブ現象（図7）により、使用上支障をきたす場合があるので、重要な問題となる。



〔備考〕 全乾状態の負荷によるクリープは非常に小さい (OA)、最初の吸湿過程でクリープは急激に増加する (AB)、続く放湿過程でクリープはさらに増加する (BC)。これ以降クリープは、吸湿過程で部分的に回復し、放湿過程で増加する。累積されたクリープは、水分定常状態より大きくなる。

図 6.37 木材のメカノソープティブクリープ (Armstrong, 1961)²⁰⁾

図表7 木材のメカノソープティブ⁵⁾

⁵⁾出典：岡野健，祖父江信夫編集：木材科学ハンドブック，朝倉書店，東京，2006，pp.194

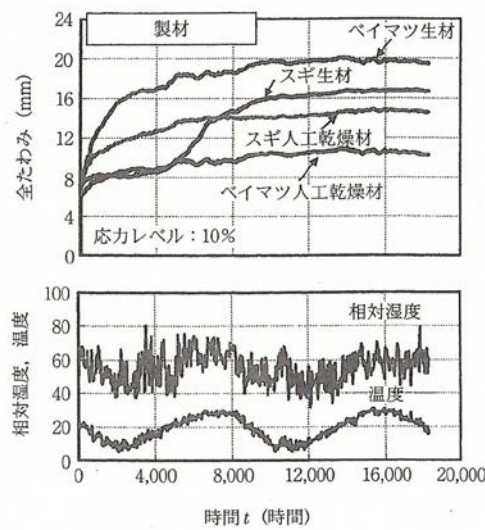


図 6.38 製材の自然環境下におけるクリープ (荒武他, 2002)²¹⁾
 (寸法 10.5 cm×24 cm×4 m, 応力レベル 10%)

図8 自然環境下における製材のクリープ(たわみ量の時間推移)⁶

iii. 乾燥法の変遷

一方、木材の乾燥においては、一般に経済を度外視し、時間さえかけるならだれでも一応の成果は得られる。しかし、効率を追求する工業化社会においては、より速く、完全に、安全に、安く乾燥させることが要求され、各種の人工乾燥法が開発された。

この中で、乾燥時間の短縮、表面・内部割れの抑制・防止に効果などを目的とし、乾燥初期温度を90～140℃の高温に設定する高温乾燥法（急速乾燥法）が1990年代から、針葉樹材を対象として広がりを見せている。高温乾燥法は、既に1950年代から知られていた方法であり、試験的に取り組む向きもあったようだが、大きな成果を得ないまま蒸気式乾燥法に移行し、その後は両者の明確な区別がつかない状況が続いた。しかし、近年の建築工法の変化に伴う工期の短縮、材料のプレカット化など、大きな需要先である建築への安定供給のため、適切に乾燥処理した材料の安定供給が求められており、高温乾燥が関心を集めている。

高温乾燥法は、反面、含水率が高い状態において95～140℃の熱処理がなされるため、この温度域は木材を構成する化学成分であるヘミセルロースやリグニンの軟化および構造的変異を引き起こす。そのため、材質の劣化や強度性能の低下などが懸念されている。特に、落込み現象、横方向強度の低下、蟻害などの心配が指摘されている。

⁶出典：岡野健，祖父江信夫編集：木材科学ハンドブック，朝倉書店，東京，2006，pp.195

iv. クリープ試験によるたわみ量の予測理論

一定荷重下において、木材や木質材料はクリープ現象を生じる（図8）。このクリープ現象について、ある時間のクリープたわみ量 $\delta(t)$ は、以下のPower則で近似されることが知られている（図表13）。

$$\log \delta(t) = a \times \log t + b$$

または、

$$\delta(t) = A t^N$$

または、

$$\delta(t) = \delta(0) + A t^N$$

または、

$$\delta(t) = a \times \log t + b$$

ここで、 a 、 b 、 A 、 N は定数、 $\delta(0)$ は初期たわみ、 t は時間である。

実際の使用環境における湿度や温度の変動にどのように影響されるかについては不明な点が多い。これらの式で近似することにより、本PJで実施する3年間のクリープ試験の実測データを元にした30年後、100年後のたわみ量が予測できる（図9）。

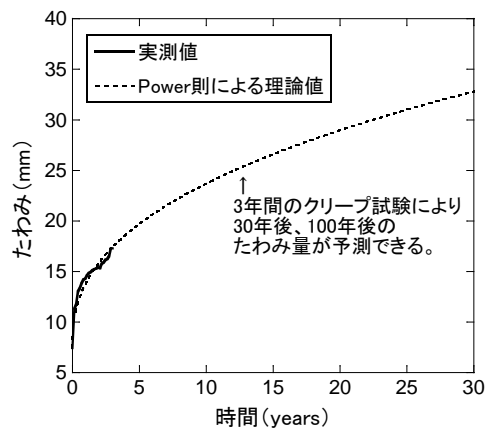


図9 クリープ試験によるたわみ量の予測

この結果は、超低温乾燥法による乾燥材で、100年住宅を建築した場合の部材保証に直接的につながる。

■ 具体的な計画立案

栗駒地区において、名古屋大学・天然住宅・東北職業能力開発大学校・宮城県林業技術総合センター・現地協力者の共同で、実験材料の準備方法、試験場までの搬送方法、クリープ試験の開始、実大強度試験および無欠点小試験片の作成方法などについて検討し、具体的な計画立案を行った。実施計画は以下の通り。

① 試験場所

宮城県林業技術総合センター及び東北職業能力開発大学校(実大曲げ試験)、栗駒木

材株式会社(実大クリープ試験)、名古屋大学(JIS試験)

② 実験スケジュールと担当者

- i. 低温乾燥機は平成21年度内に完成の予定。
- ii. 4月ごろに試験体調達（乾燥前の製材）→ 試験体の振り分け（大西、名大）→ 各種乾燥（含水率の検証）→ 8～9月：実大曲げ試験（名大、大西、平野）→ 10月頃：実大クリープ試験開始（名大、大西、平野）、JIS試験用無欠点小試験片の作成（大西）→ JIS強度試験（名大）→ 破面解析（名大）
- iii. クリープ試験機は合計16体分に対応のものとする。予備実験のために試作品（基礎工事も含む）は出来る限り早く作製する必要がある（天然住宅）。
- iv. 無欠点小試験片は、引張、曲げ、圧縮についてJIS試験を行う。

③ 試験体（スギ）

- i. 伐採からの履歴が明確な材料（可能な限り同じロット）、および、市場流通品。市場流通品は各種乾燥条件材と同様な材質の物を調達する。
- ii. 乾燥前に、含水率、密度、ヤング率（応力波、音速）で条件ごとに振り分ける。この際の含水率測定は、余分に調達した材料を小ブロックに切断して測定する。これらの測定は平野、大西が担当。
- iii. 寸法
120mm（幅）×210mm（高さ）×4000mm（長さ）
- iv. 試験体数
低温乾燥材 4（クリープ用）+1（含水率測定用）+10（静的試験用）=15
高温乾燥材 4（クリープ用）+1（含水率測定用）+10（静的試験用）=15
燻煙乾燥材 4（クリープ用）+1（含水率測定用）+10（静的試験用）=15
計45体であるが、2）の振り分けを考慮して余分に調達する（60体程度）
市場流通品 4（クリープ用）+1（含水率測定用）+10（静的試験用）=15
以上、合計75体
- v. 現実的な乾燥材（断面中央では平衡含水率に達していない）を考慮して、断面中央の含水率を随時知る必要がある（透過型含水率計があった方が望ましい）

④ 乾燥経費について

それぞれの乾燥法での経費（エネルギー）を把握する。

低温乾燥、燻煙乾燥：栗駒木材の実績を採用する。

高温乾燥：可能な限りデータを入手する（平野）

⑤ 負荷方法

3等分点4点負荷による。静的強さの10%(実大曲げ試験の結果に基づく)。16体同時に行う。

⑥ 計測について

- i. クリープたわみと実験室温湿度の測定
基本的にたわみは自動計測であるが、可能であれば週1回程度は状態をチェックする(平野、栗駒木材)。
- ii. 含水率の測定
週一回程度、手動で測定する（以下の2項目）。

- ・含水率計による測定（平野）
 - ・小ブロック（木口両面をシリコンで被膜）の重量測定（電子天秤）（後日、全乾にして含水率算出）（平野）
- iii. 収縮膨潤率の測定
荷重方向は自動計測で計測。荷重垂直方向はノギスなどで、手動で、測定する。
（平野）

■ 実施体制

名古屋大学（試験方法の立案、指示、実験装置全体の設置立案、データの解析・性能評価）、東北職業能力開発大学校（データロガーの設置、試験の実施、継続測定）、宮城県林業技術総合センター（試験体の準備、試験実施）、天然住宅（クリーブ試験装置の設置）の各主体共同のもとに実施する。

1) 3) 集合住宅Kの屋内実測、および、実験住戸のLCA分析（埼玉大学・早稲田グループ）

図10に示すのは、集合住宅Kの屋内実測概念図である。計測機器は先述した通りであるが、ここでは導入予定のペレットストーブの計測についても記述している。図11に示すのは、実験住戸のLCA分析を行う上でのバウンダリと対象とする項目である。

次年度はこれら計画を元に、実測機器の設置、試験計測、また詳細なLCA分析を開始する予定である。

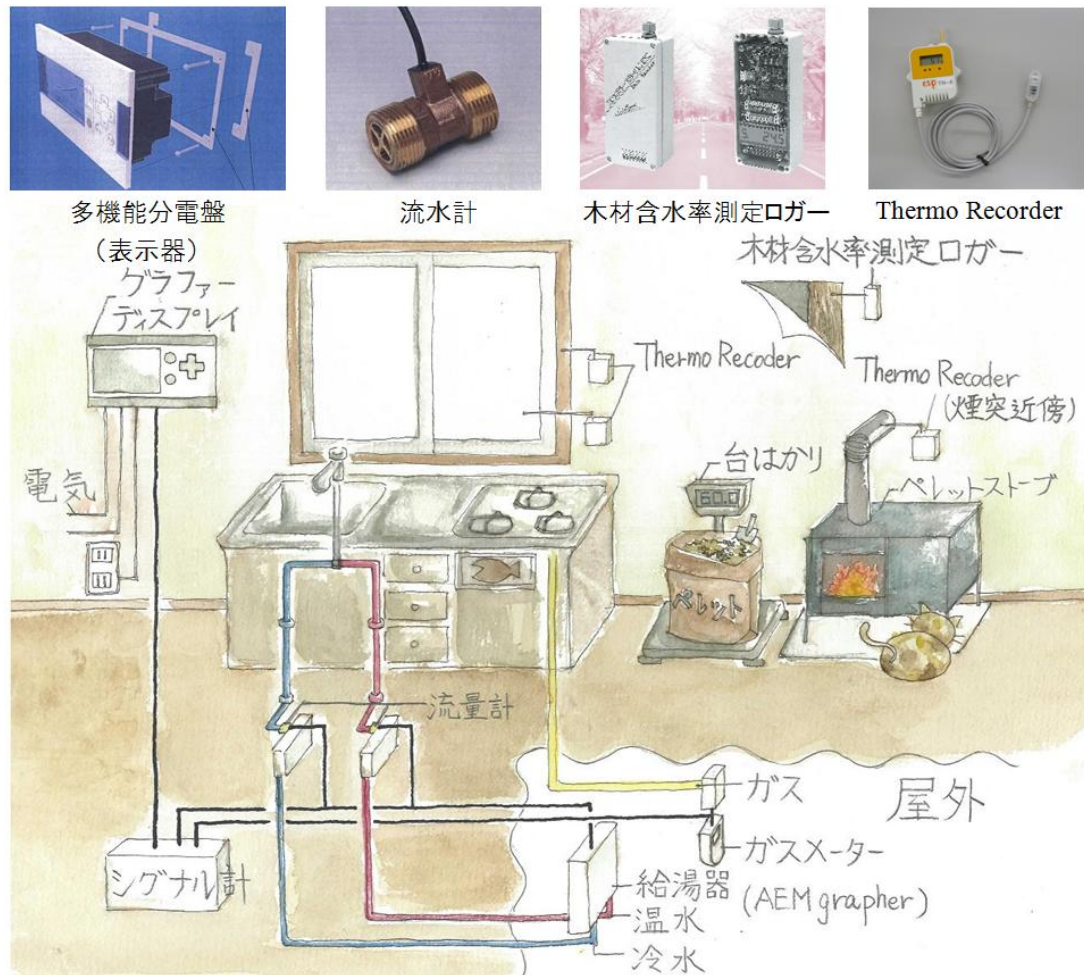


図10 屋内実測概念図

- 4) カーボンオフセット市場を確立、及び、LCCO₂削減効果の検証（天然住宅グループ、及び、埼玉大学）

■ カーボンオフセット市場を確立

カーボンオフセットについては、国内産の減少二酸化炭素分は、日本全体でも一部しか実現できていない。一部実現しているのは自然エネルギーによる減少分と、ペレットストーブによる灯油消費減少分、森林の手入れによる減少分である。

まず国外に資金流出を招くCDMによるカーボンオフセットは論外としても、国内の減少分の中で、市民が参加できない排出権取引も対象外であり、市民自らが参加できる仕組みの構築が求められている。

そういう意味で、100万人の組合員を持つ生協組織である「パルシステム」が作った、

組合員と生協との間での二酸化炭素減少分の取引の仕組みは、参考に値する。しかもこの場合、対前年比ではなく、2000年値を基準とし、そこから毎年マイナス1%ずつ減らしたものに対する減少分を取引対象としている。これは東京都が「家庭は2020年に2000年値のマイナス20%を実現すること」という基準に合わせたものであり、合理性がある。これを実現できるような仕組みを作るとともに、減少分の客観的な立証のために別グループの研究している「住宅の温熱環境調査」のデータで実現したい。

また、ここでいう二酸化炭素減少分は主にランニングの部分であるが、住宅が木材を使うことで保存される二酸化炭素分は、固定分として別にカウントしたい。引き続き他の状況を調査しつつ、カーボンオフセット市場を確立したい。

■ 住生活のLCCO2 (ライフサイクルCO2)削減調査による、2050年カーボンニュートラルシナリオ作成 (2009年度結果)

外岡等は都道府県政令市別の住宅エネルギー消費量詳細推計データベースを開発し、それを用いて2030年までのCO2排出削減シナリオ分析を行ってきた^{7・8・9}。このプロジェクトでは、それを延長して2050年までのシナリオ分析を行う予定であり、最新の対策技術状況に基づく2030年までの改訂推計を行い、それに基づく2050年カーボンニュートラル達成への排出削減シナリオのイメージを図3に示す。そこで検討される削減対策について整理すると表5のような対策が考えられる。

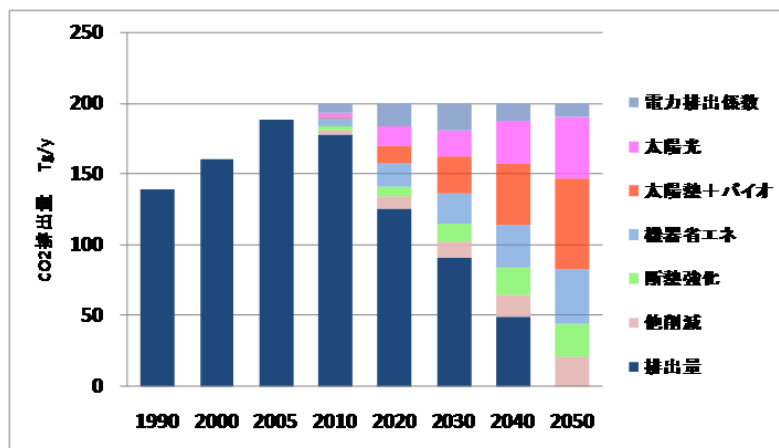


図11 日本の住宅CO2排出量の推移と2050年カーボンニュートラル達成経路 (概算試算に基づくシナリオ設定イメージ)

⁷外岡豊,他(2008)わが国民生活部門のCO2排出削減シナリオ,家庭・業務部門の温暖化対策,藤沼康実他編,国立環境研究所地球環境研究センター,ISSN1341-4356,CGER-1079,2008, p91-133

⁸外岡 豊,他(2008)日本の建築部門におけるCO2排出の現状と削減シナリオ,エネルギーシステム経済・環境コンファレンス第24回講演論文要旨集,32-1, p541-544,ISSN1883-4728

³)外岡, 深澤, 金本 (2007a) 日本の家庭部門におけるCO2排出削減シナリオ, 第23回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集, 25-28.

⁹外岡, 深澤, 金本 (2007a) 日本の家庭部門におけるCO2排出削減シナリオ, 第23回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集, 25-28.

表5 生活環境対策

住宅の環境対策の事例		
分野	対策	事例
建物熱性能	高断熱・気密化	高断熱、高气密、遮熱、小屋裏排気・熱回収
	パッシブクーリング、パッシブヒーティング	通風、日射遮蔽等による冷房時CO2排出削減 日射取得、蓄熱利用等による暖房時CO2排出削減
	通風・換気	潜熱回収換気等、適正換気と省エネルギーの両立
	蓄熱	石蓄熱、水蓄熱槽、杭体利用、氷蓄熱、季節蓄熱、化学変化蓄熱
高効率設備	高効率暖冷房機器の採用	高効率家庭用エアコン・ヒートポンプの採用、高効率暖房機器の採用
	高効率給湯器の採用	家庭用ヒートポンプ給湯器の採用、家庭用潜熱回収型給湯器の採用、家庭用コージェネレーションシステムの採用
	高効率照明の導入	LED照明、有機EL照明、高効率蛍光灯
自然エネルギー利用	太陽光発電システム 太陽熱給湯システム	屋根上、壁面設置、建物一体化、PVC太陽熱ヒートタイプシステム
	蓄電	キャパシタ等蓄電でPVC自家発電利用
	バイオマスエネルギー (木質ペレットなど)	バイオペレット暖房、冷房、給湯、厨房
	地中熱	クールパイプ、地中熱ヒートポンプ暖房
	地下水熱源利用	井戸水冷房、地下水ヒートポンプ、季節蓄熱
LCA	採光設計	屋光利用、ガラスブロック等による照明省エネ、グラスファイバー採光
	木材利用	木材の使用量増加によるCO2吸収固定量の増加、他資材の削減
	自然素材利用	自然素材利用による廃棄物負荷低減、化学物質環境リスク削減
	リサイクル考慮設計	容易解体可能工法、部材再利用可能システム
	改修工事考慮設計	スケルトン・インフィル、設備更新容易性考慮設計
	解体廃棄物考慮設計	建設廃棄物環境影響削減考慮設計
緑化と微気候対策	庭、建物周囲の植栽	日陰と日射の制御、建物周囲微気象環境改善、良好なたたずまい
	屋根面緑化、壁面緑化	芝屋根、つた、へちま、屋上緑化等
	透水性舗装、蒸発散	駐車場、玄関導入路等の透水性舗装、屋根散水
意識	ライフスタイルの提案	温暖化対策ライフスタイルの提案
	HEMS(注1)の導入	HEMSのエネルギー表示モニター等により居住者に環境・エネルギー情報を伝えることによるライフスタイルの見直し
近隣連携	エネルギー融通	例：余剰PVC電力、余剰温水を近隣業務へ、地域低温暖源用水ヒートポンプ利用
都市対策	風の道	ヒートアイランド対策による冷房負荷削減
	日当確保敷地利用制度	敷地太陽エネルギー受熱条件改善
その他	雨水利用、堆肥作成	雨水回収雑用水利用、生ごみ自家処理

(注1) HEMS(home energy management system)は住宅のエネルギー消費をIT(情報技術)で最適化する技術である。エアコンやテレビなど家電製品のエネルギー消費を制御装置で調整する。住宅内の状況は、人感センサー、温度センサー、電力センサーなどで把握する。これらセンサーの情報は、通信ネットワークで集める。また、操作・表示パネルを備えたりリモコンも組み合わせる。
 建築学会地球環境委員会温暖化対策小委員会資料を参考に外岡豊作成

また平行して、その準備的な解析として田中昭雄,他(2008)¹⁰の推計手法を用いて都道府県別・世帯人員別、世帯類型別の住宅エネルギー消費量とCO2排出量の推計を行った。田中昭雄,他(2008)は家計調査(単身世帯を含む)を用いて世帯属性別と世帯人員規模別の世帯当・住宅エネルギー消費量を10地域別に推計しているが、同じ手法で都道府県別に推計を行い、その世帯属性別、世帯人員規模別の相対傾向を反映させた推計について試算した(未発表)。

家計調査は対象が県庁所在都市に偏在しているため、我々(外岡等)は、その平均値がそのままでは県全域を代表する値とは考えられないとの立場から独自の推計を行

¹⁰田中昭雄,他(2008)世帯属性を考慮した住宅用エネルギー消費原単位の推定と将来予測,日本建築学会環境系論文集,Vol.73,No.628,pp823-830

って来たが、本試算では2005年度について戸建,集合住宅別に推計した値の全世帯平均値を基礎に世帯属性と世帯人員規模別のエネルギー消費水準の違いを反映させた推計を行った(未発表)。図12にその試算結果を示す。同じ地域でも世帯属性や世帯規模により世帯当たりのエネルギー消費水準とその構成に違いがあることがわかる。従って世帯属性と世帯規模を考慮したCO2排出削減対策評価を行う方針である。

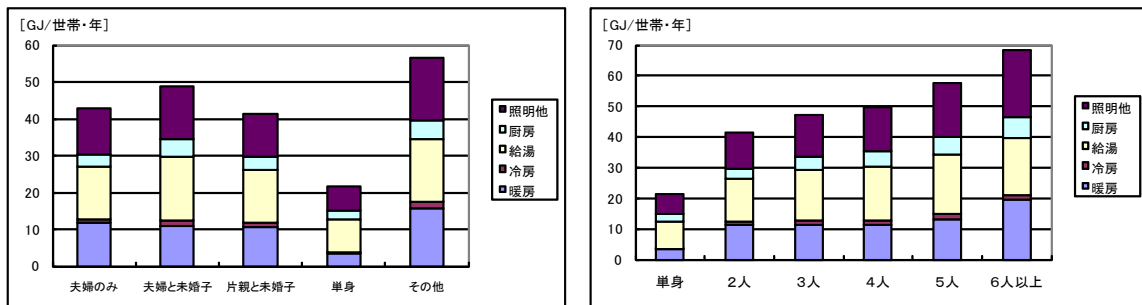


図12 世帯人員別・住宅エネルギー消費量試算結果 埼玉県の場合

2050年における住宅CO2排出量のカーボンニュートラル達成はLCCO2評価で行う。外岡等は産業連関表を用いた誘発CO2排出量分析^{11・12}を行ってきたが、それを応用した建築LCCO2分析の手法も開発した¹³。その手法を用いた住宅のLCCO2カーボンニュートラル達成のイメージを図13に示す。

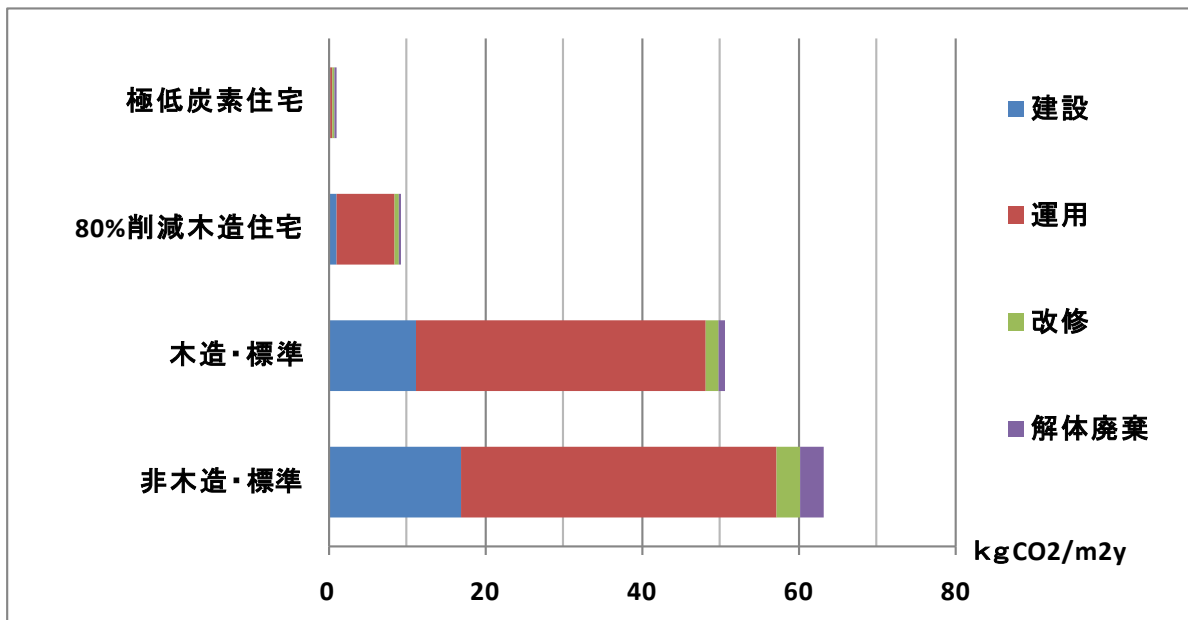


図13 住宅LCCO2評価のイメージ

¹¹外岡 豊,河中俊(1995)産業連関表による建設部門誘発CO2排出量の解析,IBS研究報告30周年記念号

¹²本藤 裕樹, 外岡 豊,他(2002) 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,論文賞受賞

¹³日本建築学会(1998)地球環境委員会環境管理小委員会環境対策WG報告 (外岡代表執筆,編集)

図14にLCAのシステムバウンダリ（評価に取り込む要素項目の範囲）について例示するが、これから実施する低排出木造住宅LCAでは使用木材量を正確に計上しその炭素固定によるCO2排出削減効果をLCA評価に取り込む予定である。

次年度はこれら計画を元に、実測機器の設置、試験計測、また詳細な住宅CO2排出量推計とそれを用いたLCA分析を開始する予定である。

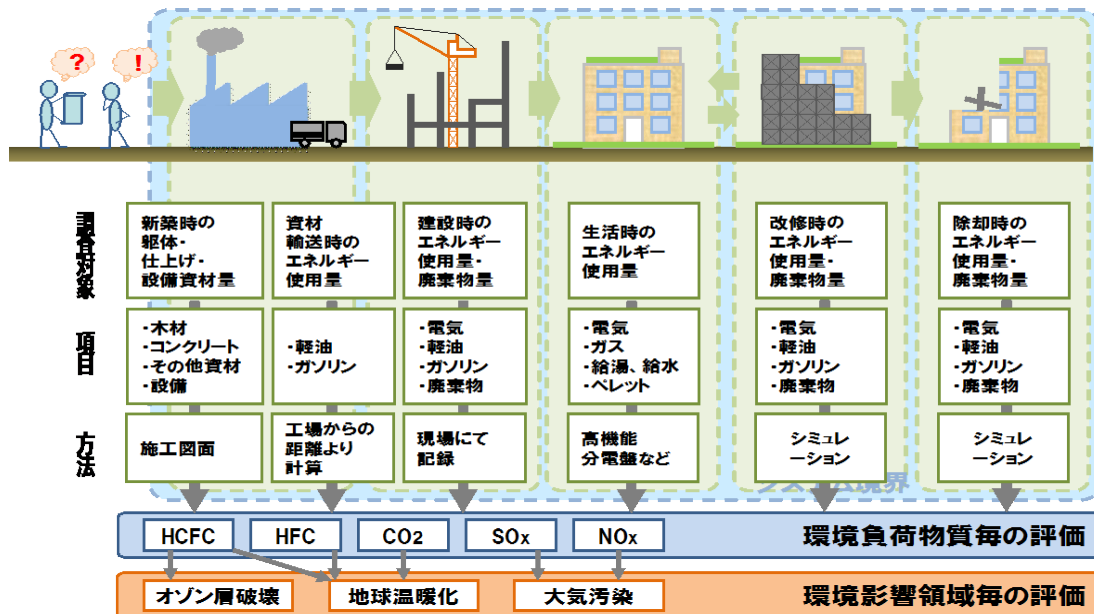


図14 LCAのバウンダリ

(4) 開催したワークショップ、シンポジウム、会議等の活動

年月日	名称	場所	概要
H21. 10. 26	第1回ラウンドテーブル	・天然住宅本社、および、その周辺 ・東京都内	・天然住宅使用の建築の視察（建築現場の視察） ・東京都内のコーポラティブ・マンション（天然住宅仕様）の視察
H21. 11. 20	第2回ラウンドテーブル	埼玉大学東京ステーションカレッジ	各研究主体の今までの研究実績等の発表。
H21. 12. 21～12. 22	第3回ラウンドテーブル	宮城県栗駒	大崎森林組合、栗駒木材、エコラの森の視察 林業を取り巻く諸問題の論点整理討論
H22. 2. 5	第4回ラウンドテーブル	JST会議室	今後の研究開発の方向性についての議論

(5) 研究開発実施におけるその他の活動

■天然素材住宅に関する一般図書の出版

当プロジェクト副代表である相根および田中が中心となり、一般の人々向けに、天然住宅の理念等をわかりやすく解説した図書を出版¹⁴した（発刊は2010年4月）。

■天然素材住宅に関する講演

当プロジェクト副代表である相根が中心となり、主に一般の人々向けに、週末等を利用して各地で講演を行っている。

[相根講演]

年月	セミナー名等	テーマ	主催	その他
2009.11	未来ビレッジサミット(国際シンポジウム)	地域にコミュニティを創る天然住宅	未来ビレッジサミット実行委員会	後援：国土交通省・社団法人、日本建築士会連合会・日本経済新聞社
2009.12	エコプロダクツ2009	森林の危機的状況とその再生「天然住宅」	日本経済新聞社、社団法人・産業環境管理協会	後援：経済産業省、国土交通省、環境省、農林水産省、文部科学省、厚生労働省、他
2010.1	低炭素社会の構築に向けてバイオマス利活用の推進と林業再生を図	健康・自然素材のサステイナブルな住宅づくりとバイオマス利活用	東北バイオマス発見利活用協議会	東北農政局・宮城県

¹⁴ 田中優／相根昭典（2010）『天然住宅から社会を変える30の方法』合同出版

	る			
2010.2	太陽熱エネルギー学会	太陽熱を利用した環境調和型住宅設計	太陽熱部会	
2010.3	森の駅「セミナー	森林資源の活用と地域再生「天然住宅	地域交流センター、「森の駅」設立準備委員会	

■温室効果ガス排出削減の推進とLCA評価手法の開発

当プロジェクト代表の外岡はCOP3京都会議以前から日本建築学会地球環境委員会と傘下の気候変動対策推進小委員会（三浦秀一主査）、LCA統合評価小委員会などにおいて住宅における温室効果ガス排出削減の推進とLCA評価手法の開発について検討してきた。

■日本建築学会地球環境委員会では関係17団体に働きかけ『建築関連分野の温暖化対策ビジョン2050年ーカーボンニュートラルをめざして』をまとめて公表した。（2009.12.22、IJ・Web要望書・提言に掲示）

この委員会は建築学会の活動ではないが、その住宅部門の提言を具体化する削減シナリオを提示するものであり、2010年9月の建築学会大会においてこのプロジェクトを紹介し、それについて討議するパネルディスカッションを企画した。『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』と題して、2010年9月11日（土）に実施する。

また2010年度から2年間、2050年住宅カーボンニュートラル達成シナリオWGを新設することを企画、両企画とも建築学会地球環境委員会承認された。

■温室効果ガス排出削減に関する講演

外岡は、2010年度埼玉県環境優良建築表彰の審査委員として環境配慮住宅と業務建築の審査を行い、埼玉県産木材を活用した省エネルギー、環境配慮住宅を優秀作に選定するなど、当プロジェクトにつながる住宅事例の発掘を行った。

その優秀作品の展示にあわせて外岡は埼玉県都市整備部住宅課主催の住宅政策研究会において県内自治体の住宅行政担当者に「環境にやさしい住まいづくりについて」と題して、住宅における温室効果ガス排出削減に関する講演を行った（2010.3.23、北浦和県立美術館）

田中は、2009/12/2 学校法人桑沢学園での「温暖化防止のために私たちにできること」をはじめ、2009/1/17 全国大学生協組合連合会、2009/1/12 岡山医療生協協同組合、2009/11/18 独立行政法人国立高等専門学校機構、2009/12/14 学校法人龍谷大学、2009/1/19 新潟市、2009/9/25 青森保健生活協同組合、2009/11/7 独立行政法人NEDO、2009/12/5 岐阜県地球温暖化防止センター、2009/5/25 北星学園、2009/5/11 福山暁の星学院、2009/8/22 愛知中央青年会議所など、全国各地での地球温暖化防止の講演会で住宅における温室効果ガス排出削減に関する講演を行った。

4. 研究開発成果の活用・展開に向けた状況

■市民設立の金融機関（NPOバンク）の住宅普及、及び、林産業の復興への活用・展開に向けた状況

住宅の普及、及び、林産業の復興を目指すためには、金融的な問題解決が重要であり、そのための研究を行っている。ここで住宅普及の観点でみた場合、特に問題になるのは中古住宅（上物）価値の問題である。住宅価格については住宅ローンにおける銀行等の減価償却期間等の関係で、中古住宅（上物）価格が実質的に「0（ゼロ）」として取引されているのが実際である。他方、林産業の復興という観点でみた場合、木材からの所得（売上マイナス費用）が極めて低い状態になっていることから、一般の金融機関からの借り入れ金利が重い負担となっている。このような金融的な問題に対して当プロジェクトで議論をし、その解決策について研究を行っている。

とはいえ、具体的に解決していくためには、金融取引を実施する必要があり、そのために一般には金融機関（銀行等）に委ねることになるが、当プロジェクトでは市民設立の金融機関（NPOバンク）として天然住宅バンクがあるので、それを活用することにより、研究開発の成果を実証することができ、また、さらなる問題があった場合にも、その対処が可能となる。

■皮むき間伐についての実施

木材乾燥の研究調査の中で「皮むき間伐」の有効性について議論になった。しかし、この方法による先行事例・実証報告等がなく、その有効性が確認できないことが明らかになった。そこで、次年度（2010年4月、及び、7月）に当プロジェクトメンバーが中心となり、市民ボランティアも巻き込んで、実際に皮むき間伐の実施を予定している。

実際に行うことによって、実証的に分析し、その有効性が確認できれば、林産業側の木材在庫におけるコスト削減が見込める上に、天日乾燥による時間削減効果等によって、林産業の発展に寄与するものと考えられる。

5. 研究開発実施体制

（1）埼玉大学・早稲田大学グループ

- ① 外岡 豊（埼玉大学、教授）
- ② ・削減シナリオとDB作成及び全体企画（埼玉大）
・天然素材住宅の温熱環境実証分析（早稲田大）

（2）名古屋グループ

- ① 福島和彦（名古屋大学、教授）
- ② ・低温乾燥国産スギ材の性能評価（短期・長期）による、建築材料としての可能性の検討（名古屋大、栗駒木材、東北職業能力開発大学校、宮城県林業技術総合センター、天然住宅）
・材質の物理的・化学的評価による、材料の耐久面における低温乾燥法の優位性の検討（名古屋大）
・製材所に安価に導入可能な材料品質（強度・含水率）非破壊評価法の開発

- (栗駒木材、東北職業能力開発大学校、宮城県林業技術総合センター、名古屋大)
- ・未利用バイオマスの有効活用のための、バイオマス変換技術移転シナリオの策定
(名古屋大)
 - ・超低温木材乾燥装置の製造による、高性能な木材の普及(天然住宅、栗駒木材、東北職業能力開発大学校、宮城県林業技術総合センター)
 - ・労働生産性の現状調査による、工場生産ラインの効率化と人材育成の仕組み作り
(栗駒木材、東北職業能力開発大学校、宮城県林業技術総合センター)
 - ・林産地・都市双方とともに考える林業・林産業復興モデル(天然住宅)

(3) 天然住宅グループ

- ① 相根 昭典(天然住宅、代表)
- ②
 - ・中古住宅市場の創設
 - ・長寿命で健康的な住宅のための認証制度の開発
 - ・中古住宅市場におけるファイナンス制度の開発
 - ・住宅における一般家庭排出量を基準とした「カーボンオフセット」の仕組みの模索
 - ・当プロジェクト全体のコーディネート(まちぽっと)

6. 研究開発実施者

- ① 埼玉大学・早稲田大学グループ（削減シナリオとDB作成及び全体企画、及び、天然素材住宅の温熱環境実証分析）

氏名	所属	役職
外岡 豊	埼玉大学 経済学部	教授
田中 昭雄	熊本大学大学院自然科学研究科	特任教授
小笠原 伸	早稲田大学 WABOT-HOUSE 研究所	副所長
高口 洋人	早稲田大学理工学術 院創造理工学部建築 学科	准教授
中島 裕輔	工学院大学工学部建 築都市デザイン学科	准教授

- ② 名古屋グループ（低温乾燥国産スギ材の性能評価（短期・長期）による、建築材料としての可能性の検討）

氏名	所属	役職
福島 和彦	名古屋大学大学院生命農学研究科	教授
佐々木 康寿	名古屋大学大学院生命農学研究科	教授
山崎 真理子	名古屋大学大学院生命農学研究科	准教授
安藤 幸世	名古屋大学大学院生命農学研究科	助教
今井 貴規	名古屋大学大学院生命農学研究科	准教授
松下 泰幸	名古屋大学大学院生命農学研究科	准教授
岡山 朋子	名古屋大学農学国際 教育協力研究センター	研究員
平野 直樹	東北職業能力開発大 学校	講師
菅原 正義	栗駒木材株式会社	代表取締役社長
大場 隆博	栗駒木材株式会社	

大西 裕二	宮城県林業技術総合センター	研究員
-------	---------------	-----

- ③ 天然住宅グループ（中古住宅市場の創設、長寿命で健康的な住宅のための認証制度の開発、中古住宅市場におけるファイナンス制度の開発、住宅における一般家庭排出量を基準とした「カーボンオフセット」の仕組みの模索、当プロジェクト全体のコーディネーター）

氏名	所属	役職
相根 昭典	一般社団法人天然住宅	代表
田中 優	一般社団法人天然住宅	共同代表
坂東 和能	一般社団法人天然住宅	スタッフ
井上 あいみ	一般社団法人天然住宅	スタッフ
小川 直也	アマタ株式会社 環境認証研究所	研究員
奥田 裕之	NPO法人まちぽっと	事務局
前田 拓生	NPO法人まちぽっと	研究員
佐々木美貴	NPO法人まちぽっと	研究員

7. 研究開発成果の発表・発信状況、アウトリーチ活動など

(1) 論文発表

(国内誌__0件、国際誌__0件)

(2) 口頭発表 (国際学会発表及び主要な国内学会発表)

①招待講演 (国内会議__0件、国際会議__0件)

②口頭講演 (国内会議__0件、国際会議__0件)

③ポスター発表 (国内会議__0件、国際会議__0件)

(3) 新聞報道・投稿、受賞

①新聞報道・投稿 ……なし

②受賞 ……なし

(4) その他の発表・発信状況、アウトリーチ活動など

特記事項なし