

資 料

地産地消型木造建築システムの実践

—研究林スギ間伐材を利用した大学木造施設の建設—

小林 広英*・松倉 崇*・小林 正美*

Application of sustainable building system with local timber

—Trial architecture using timber resources of university research forest—

Hirohide KOBAYASHI*, Takashi MATSUKURA* and Masami KOBAYASHI*

キーワード：建築システム，木造，耐震，地域材，地域ビルダー

Key words: Building system, Timber structure, Earthquake resistance, Local timber, Local builder

1. はじめに

2004年4月より産学連携の共同研究をおこない，ユニット形式の耐震木造建築システム（j.Podシステム）実用化の開発に取り組んできた^{注1)}。j.Podとはjoining Pods = 連結されたユニット群を意味する（以下，‘本木造建築システム’とする）。開発プロセスで筆者らは，ユニットのモジュール計画，実用建築に適用するユニット集合体の構成計画，及び構造体に用いる国産木材の合理的利用，地域への技術移転手法など計画的側面を中心に関わってきた。この研究開発では，近年における木造建築の地震被害や森林産業低迷を一因とする山地災害の増大を社会的背景として，国産地域材の循環的利用によ

る森林機能（公益的機能）の回復と，地域ビルダーによる耐震木造建築の普及をおこない，地域力の向上・木文化の再生を目指している。このような観点から，本木造建築システムを「地産地消型木造建築システム」と位置付けている。

実用化開発は，2004年11月の実物大構造実験モデルを経て，2005年3月に試行建築1（実験モデル棟）を京都大学北部構内に，試行建築2（教育研究棟）を同大学フィールド科学教育研究センター和歌山研究林に完成している。その後，2006年5月には試行建築3（国際交流セミナーハウス）が同大学本部構内で完成し，現在までにいくつかの自治体で，地域ビルダーへの技術移転を通じたモデルプロジェクトを実施している（写真-1）^{注2)}。



写真-1：本木造建築システムの適用事例
Photo-1: Application of sustainable building system

* 京都大学大学院地球環境学堂
* Graduate School of Global Environmental Studies, Kyoto University

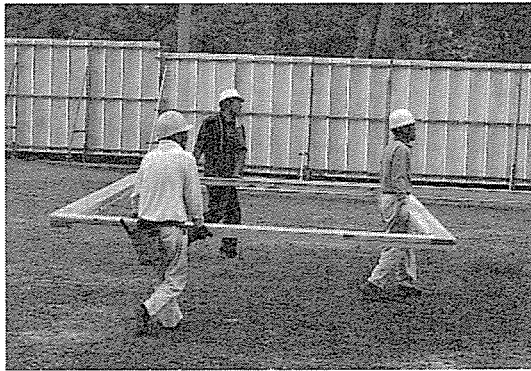


写真-2: リブフレームの人力運搬
Photo-2: Man-powered carry of rib-frame

一般的な住宅階高(約3.0m)を考慮し、内法有効高さを2.54m(外寸法高2.9m)に設定する。リブフレームは口の字型に完結した形状で強度があるため荷積みや搬送時に扱いやすく、図-4のように4tトラックで約3ユニット分(リブフレーム21体分)を積載できる。付属金物等と合わせて総積載量3.36t(1.12t/ユニット)となり、おおよそ効率的な運搬計画となる。

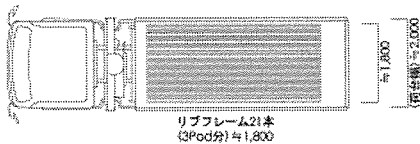
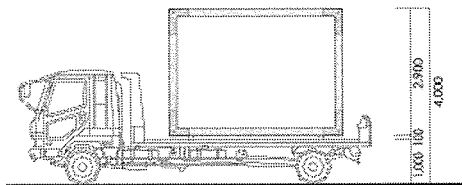


図-4: リブフレームの運搬
Fig.4: Transportation of rib-frames

2. 3. ユニットの製作プロセス

一般的な在来木造軸組工法では、少量多品種の部材を用い、柱・梁仕口部(ジョイント部)、補強金物取り付け部の加工をおこなっている(図-5)³⁾。プレカット機による自動機械加工も普及しているが、加工計画やデータ入力に一定の時間と技術を要する。一方、本木造建築システムでは図-6のように、仕口部の加工が不要なく製作容易な構造となっており、加工手間省略と単一寸法部材による製材の効率化を図っている。

リブフレームの仕口部は、L型のスチールプレートを挟み込んだ2枚の板状製材を、プレートごと釘で打ち抜き緊結する。釘打ちは、市販のガンネイラー(手持ち釘打ち機)で打ち込むだけであり、製材所・資材加工場な

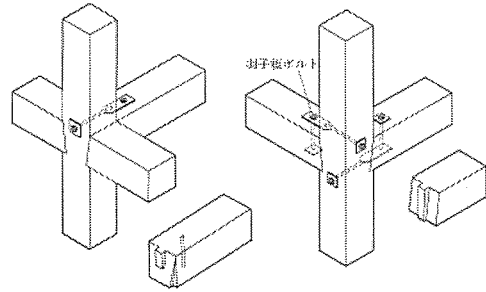


図-5: 在来木造軸組工法の仕口部例
Fig.5: Joint system of conventional wooden framework

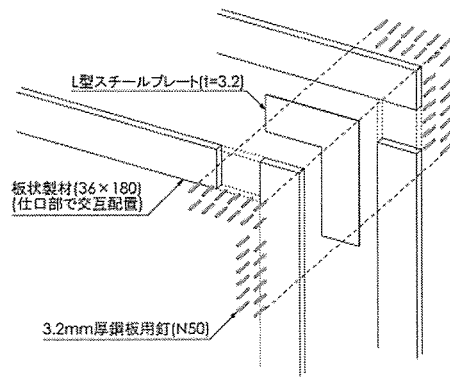


図-6: リブフレームの仕口部
Fig.6: Joint system of rib-frame

どの一角に簡単なジグ(製作用架台)をつくり製作する(写真-3)。裏面釘打ちのための反転作業はホイストクレーン、もしくは人力によりおこなう。建設現場でのユニット建方では、コーナーアンクル材にリブフレームをボルト止めしていただくので工期短縮が期待できる(写真-4)。後述する試行建築3においても、1リブフレーム製作に30分(2人体制)、1ユニットの現場建方に1時間(4人体制:玉掛け1人、取り付け2人、クレーンオペレータ1人)でできることを確認している。



写真-3: リブフレーム製作釘打ち作業
Photo-3: Nailing work for rib-frame manufacture



写真-4: ユニット建方ボルト締め作業
Photo-4: Bolting work for units' assembly

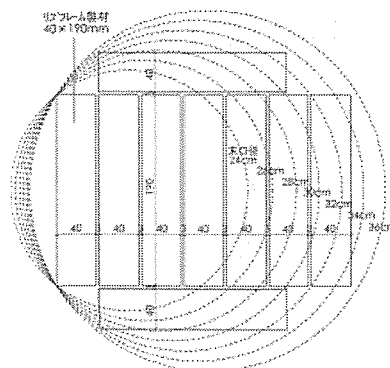


図-7: リブフレーム製材の木取り
Fig.7: Sawing patterns for rib-frames

3. 国産地域材活用のしくみづくり

3. 1. 国産地域材の有効活用

(1) スギ材の利用

本木造建築システムは、構造実験(写真-5)によるデータ(復元力特性)を反映した性能設計法(限界耐力計算)を用いて安全性を検証している¹⁾⁶⁾。実験報告では、シンプルな仕口形状でありながら、変形性能が大きく変形初期では剛接合に近い一体化した仕口を形成し、母材となる木材の耐力を有効に発揮させる構造体であることを確認している^{注3)}。ここでは特に地域の気候風土・地形特性により強度のパラツキが大きく市場性に乏しいスギ材を主対象とし、地域毎の設計基準をつくることで材の有効利用を図る。

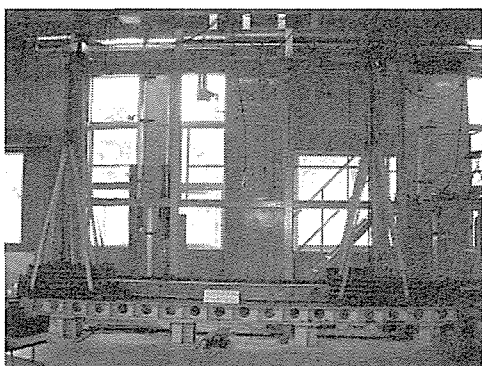


写真-5: 実大リブフレーム水平載荷実験
Photo-5: Strength test of a rib-frame

(2) 辺材部の利用

建設用足場板に類似したリブフレーム製材の形状により、心材部・辺材部とも部材価値のある構造材として木取りする(図-7)。計算上では、おおよそ製材歩留まり50%を確保できる。在来木造軸組工法の構造材は、通常正角(柱材)・平角(梁材)の心材利用だけであるが、ここでは心去り材も含めて利用することで、日本各地の

山林で多く保有され市場価値の低い50年生程度の「スギ中目材」を中心に有効活用を図る。中目材は、心持ち柱角では太くて歩留まりが悪く、鴨居など造作材(高級材)を取るには細いことから、製材木取りに不向きと一般的に言われている²⁾。

(3) 不良材の利用

枝打ち作業など手入れの不足に起因する虫食い材や、立地条件の影響と言われるスギの黒心材は美観性が悪いことから市場価値がほとんど無く、十分な強度があってもハネ材としてチップ加工にまわされることが多い。これらの材も、本木造建築システムでは積極的に利用する。黒心材は一般的に強度が高い一方で、含水率が高く乾燥による反りが発生しやすいが、ある程度の反り材であればリブフレーム製作時の釘打ちで矯正使用することが可能である。

3. 2. 木材供給プロセスの合理化

前節で述べた国産地域材の積極的利用をもとに、現在の多段階的で複雑な木材の流通システム(図-8①②③)⁵⁾の合理化を考える。従来、原木市場は「原木丸太の選別による一定品質素材の安定供給」、製品市場は「多様な建築用材に対応する少量多品種部材の安定供給」に寄与してきた。しかしながら、これら市場の多くは販売手数料

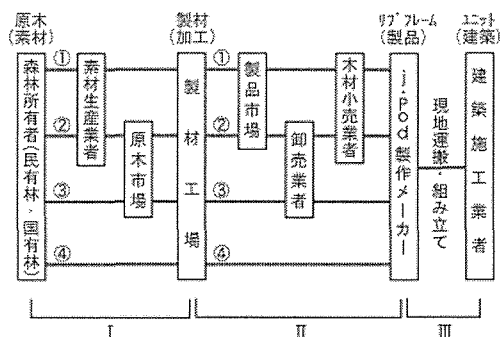


図-8: 国産木材の主な流通経路
Fig.-8: Distribution channels of domestic timber

に依存しており、外国産材と比較してコスト高になり市場低迷の一因となっている。また、外国産材の普及や集成材などのエンジニアードウッド、プレカット加工等の新産業シェアの拡大で、零細経営の多い国産材流通体制は厳しく、多くの地域で構造上の改革が求められている。

近年、木材製品の直送化や加工場の大規模化・協業化など合理化策が各地域で試みられているが、本木造建築システムも、低利用・未利用材の多くを区別無く積極的に利用すること、また単一寸法で規格化された構造材であることを利用し、原木市場や製品市場を介さない流通の合理化（短絡化）を図る（図-8④）。

3. 3. 立木コストの適正還元

市場から決定される木材製品の低コスト化と多業種の流通内在化は、山元立木価格の低迷に影響を与えている。これは、国産材が外国産材に対して競争できる市場製品価格に下降する一方で、流通構造に関わる各業種が従来通り一定の利益を確保するため、山元を圧迫しているからである⁴⁾。特にスギは、ヒノキと比較して立木価格が1/3程度(平成16年の山元立木平均価格:4,470円/m³)⁷⁾であり、この10年間で半値以下となる急激な価格下落が見られ、伐採・搬出が採算的に難しい地域が多い。

このような状況を考慮し、本木造建築システムではユニット本体に立木価格10,000円/m³(森林関係者へのヒアリングにより最低限の必要コストとして設定した)を付加したコスト設定をおこない、山元へ適正費用の還元をするしくみをつくる。リブフレーム製作を素材産地側でおこなうことで、不安定な市場価格に影響しない一定の立木価格設定・コストの透明性を通して林家への動機付けを図る。

4. 試行建築3(国際交流セミナーハウス)の建設

2006年5月に完成した試行建築3では、前述した地域材活用の検証もふまえ和歌山研究林のスギ間伐材利用をおこなった。試行建築1及び2では、素材調達や設計・建設期間の時間的制約から、材料ストックが豊富で即時に利用しやすいベイマツを使わざるを得なかったが、今回の計画では間伐施業から建設工事までを考慮した工程計画を組むことができ、試行する機会を得ることとなった。

4. 1. 試行建築概要

試行建築3(写真-6)は、京都大学本部構内に建設し講義室として利用することから、標準ユニットの間口寸法3.64m(2間幅)より大きい5.46m(3間幅)とした長スパンタイプのユニット実験モデルとして計画し

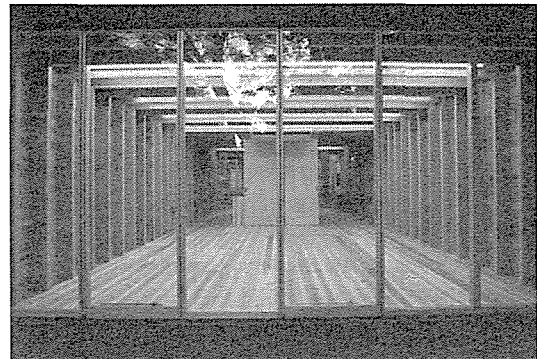
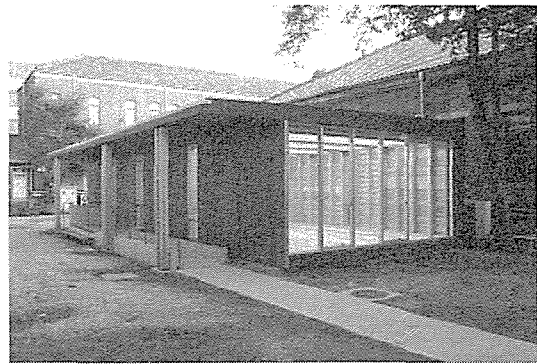


写真-6: 試行建築3 外観・内観
Photo-6: Exterior and interior of trial architecture No.3

表-1: 試行建築3 建築概要
Table-1: Outline of trial architecture No.33

試行建築3	
建設場所	京都市左京区吉田本町京都大学本部構内
建物用途	講義室(国際交流セミナーハウス)
建築面積	104.02 m ²
延床面積	91.02 m ² (4ユニット・ブレース設置)
建物規模	木造1階建
建設期間	平成18年2月23~5月31日

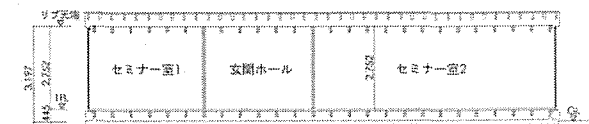
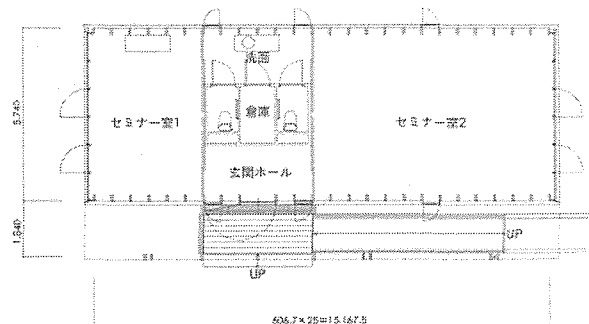


図-9: 試行建築3 平面図・断面図
Fig-9: Plan and section drawing of trial architecture No.3

た。これにともない、リブフレーム製材の断面寸法は $36 \times 210\text{mm}$ 、配列間隔は $@0.606\text{m}$ ($=1.82 / 3\text{m}$) としている。表-1に建築概要、図-9に計画図を示す。

4. 2. リブフレーム製作までのプロセス

間伐から建設までの全体工程は表-2、写真-7の通りである。ここでは、地域材利用の観点からリブフレー

表-2: 全体工程 (実施場所・期間)

Table-2: Construction process (Location and period)

工 程	実施場所	期 間
1) スギ間伐事業(素材生産業者)	和歌山研究林 (和歌山県有田郡有田川町・旧清水町)	2005年10~11月 (間伐事業) 11~1月(自然乾燥)
2) 原木の運搬	和歌山研究林~ 製材所(奈良県大淀町)	2006年1月
3) 一次製材	製材所 (奈良県大淀町)	2~3月
4) 二次製材	トリスミ集成材 (奈良県五條市)	2~4月(人工乾燥, プレーナ、仕上げ)
5) リブフレーム 製作	トリスミ集成材 (奈良県五條市)	2月下旬
6) 現場施工	本学構内	2006年2~5月

ム用製材までのプロセスをまとめる。

(1) 伐採・搬出工程

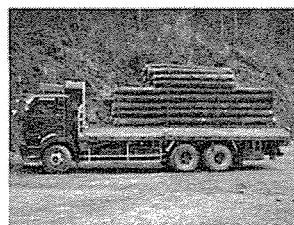
平成17年(2005年)度の和歌山研究林における素材生産間伐事業は、林道に面した約1.38ha、昭和28年造林(53年生)のスギ178本(立木材積98.885 m^3)を実施対象とした。間伐計画をおこなった9月時点では建築計画が決定しておらず、リブフレーム製材の断面寸法を目安とした胸高直径20cm半ばを中心に、選木作業をすることとなった。10月28日~11月9日の間伐施業では、具体化された計画案に基づき玉切り材長を決定、地元素材生産業者により、3m材300本、6m材133本(丸太生産材積63.466 m^3)を土場まで搬出した。

(2) 原木運搬工程

山土場で約2ヶ月半自然乾燥された原木丸太は、積雪により1月16日に一旦地元和歌山県清水町中心部の平坦な土場まで搬出された後、同月18日及び19日の2日間10tトラック2台を用いて延べ5往復で奈良県大淀町の製材所まで運搬された。スギ生木約0.8t/ m^3 から



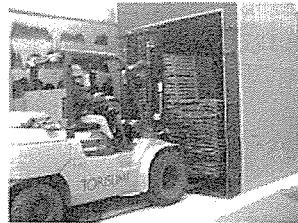
伐採・搬出作業



原木丸太の運搬



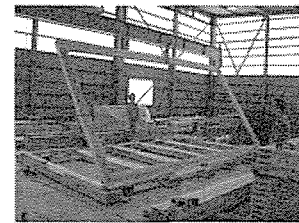
製材作業



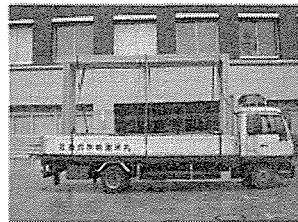
人工乾燥



リブフレームの製作



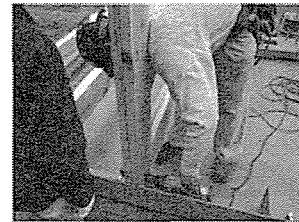
リブフレーム完成



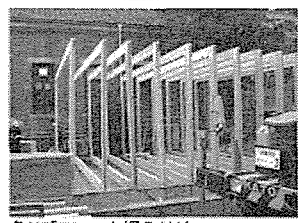
リブフレームの運搬



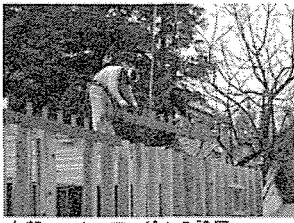
リブフレーム荷下ろし



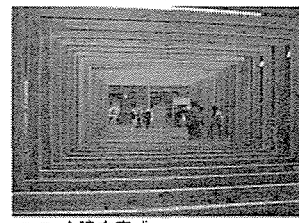
ユニット建方ボルト締め作業



各リブフレーム据え付け



上部コーナーアングルの設置



ユニット建方完成

写真-7: 全体工程の様子
Photo-7: Construction process

63.466 m³ × 0.8t / m³ = 50.8t の想定重量を算出し 10t トラック 5 往復分の計画をおこなっている。搬出された原木丸太は、当初地元製材所で製材する計画であったが、零細規模でまとまった材積を引き受ける場所がないため、リブフレームを製作したトリスミ集成材（株）に近い製材所まで運搬せざるを得なかった。

(3) 一次製材工程

一次（大割り）製材は、作業員 3 名、自動送材車付帯鋸盤（出力数約 35kw）1 台を保有し、奈良県内で多く見られる中小規模の製材所でおこなわれた。作業期間は 2 月 8 日～13 日（実働延べ 24 時間）である。製材寸法は、乾燥収縮とプレーナ仕上げによるとり代を考慮して 48 × 220mm とし、6m 材 183 枚（必要量を 3m 材に加工）、3m 材 7 枚を生産した。また、リブフレーム用製材後にできた余材や他の原木丸太は、床フローリングや壁板などの内外装材に加工した。丸太材積 19.410 m³ を用いて 11.817 m³ のリブフレーム製材を生産、内外装材と合わせて丸太材積 52.332 m³（リブフレーム用：19.410 m³ + 内外装用：32.922 m³）を利用している。

製材には、末口径 22～34cm の丸太を用いた。木取りを記録した 6m 材 16 本の丸太についてまとめたのが表-3 である。実際の丸太は楕円形をしており余長を見込んで末口径 22cm でも木取り可能な素材もあったが、適切な丸太径は 24～28cm くらいと思われる。各素材とも歩留まりは 50% 以上で、平均 60% 程度となっている。ただし、歩留まりが上がる一方で製材能率の低下が製材者より指摘された。単一寸法による製材作業は単純であるが、材径が不均一なため製材までの準備手間を要し、賃挽きコストに影響している。

(4) 人工乾燥・二次製材工程

一次製材された後、本木造建築システムの共同研究者であるトリスミ集成材（株）の加工場で人工乾燥がおこなわれた（2 月 21～27 日）。スギの乾燥は一般的に難しく高温乾燥では割れることがあるため、乾燥温度は中温 80℃ で実施し、仕様で決められている含水率 20% 以下とした。乾燥期間は通常の正角（柱材）と比較して、板状

で中心部の含水率を落とすやすいため 1 週間で完了した。

仕上げ製材でおこなうプレーナ加工は、トリスミ集成材（株）が保有する大型自動プレーナ機を用い、集成材用ラミナを製作する通常業務の空き時間を利用しておこなった。








4. 3. 考察

試行建築 3 では、初めて地域材利用とその調達工程を考慮に入れて取り組んだが、建築計画の少しの遅れが間伐計画に影響した。各工程は決められた間伐時期を基点に構成されているため、工程全体をシフトすることができない。十分な調整期間をもった工程計画も経費面等で現実的には難しい。不確定要素の多い計画立案期間との整合性が特に重要である。理想的には、素材をリブフレームとしてストックしておけば、計画・建設への柔軟な対応が可能であるが、保管場所の確保や需要の確実性においてまだ課題は多い。

木材調達工程では、積雪など自然条件の影響や地元での製材ができなかったことで、木材搬出からリブフレーム現場搬送まで計 4 回の運搬が必要となった。素材生産の地元で製材や乾燥、またリブフレーム製作ができれば、輸送材積や運搬回数も減らすことができコスト削減に寄与する。2006 年 4 月に乾燥機・製材機・モルダ設備を備える「清水町森林組合木材加工所」が、和歌山研究林から自動車で 30 分の場所に設立された。地域への技術移転を視野に入れた地域連携が継続的にできれば、今後より効率的な研究林間伐材利用が可能となる。

一方、リブフレームに用いる板状製材や製作・建方の基本的な合理性については確認できた。近年の国産材利用状況を踏まえれば、地域材を用いて実際に建設したことの意味は大きい。本木造建築システムの開発に取り組むまで、国産地域材を利用することがなかった筆者らにとって、現場から得られた数多くの知見は、以後各地で実現しつつあるモデルプロジェクトの実施に役立つ機会となっている。

表-3：リブフレーム用一次製材（48 × 220mm）の記録
Table-3: Record of primary lumber sawing

末口径(cm)	22 cm	24 cm	26 cm	28 cm	(30 cm)	(32 cm)	34 cm
	3 枚	3, 4 枚	4 枚	4, 5 枚	6 枚	7 枚	8 枚
リブフレーム材(48 × 220 mm)							
歩止り(6m 材)	59.9%	50.7%, 67.6%	57.9%	50.2%, 62.8%	65.9%	67.9%	69.0%

謝 辞

本木造建築システムは、共同研究者・榎原健一氏、榎田洋子氏、高木和芳氏による構造技術開発を基底に長期にわたる議論のもと、実用建築化・地域材利用のシステム構築が可能となりました。また、フィールド科学教育研究センター・田中克名誉教授、竹内典之名誉教授、柴田昌三教授、産官学連携本部・松重和美教授には、開発当初より本木造建築システムの理念に賛同・支援を頂きました。尾池和夫総長には、試行建築として具体的な設計・建設の機会を与えて頂きました。また、和歌山研究林長の徳地直子准教授、藤井弘明技術班長（当時）をはじめ、技術職員の方々の多大なるご協力により、研究林間伐材の利用が可能となりました。これまでにお世話になりました多くの森林関係者・建設関係者の方々のご協力も合わせて、ここに謹んで感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 榎原健一・榎田洋子 (2006年) 木造モノコックユニット構法の開発その5 リブフレームの復元力特性. 日本建築学会学術講演梗概集. Vol.2006. 147-148
- 2) スギ並材研究会 (編) (1990年) SUGI・情報ネットワーク-並材のフロンティアを求めて-. 281pp, スギ並材研究会, 東京.
- 3) 彰国社 (編) (2003年) 木造の詳細1 構造編. 157pp. 彰国社, 東京.
- 4) 中村裕幸・野城智也 (2006年) 電子タグを付与した木材流通実験. 日本建築学会建築経済委員会第22回建築生産シンポジウム論文集. Vol.2006. 157-164
- 5) 日本林業調査会 (編) (2002年) 森と木のデータブック 2002. 111pp. 日本林業調査会, 東京.
- 6) 榎田洋子・榎原健一 (2006年) 木造モノコックユニット構法の開発その4 リブフレームの水平載荷実験. 日本建築学会学術講演梗概集. Vol.2006. 145-146
- 7) 林野庁 (編) (2005年) 平成16年度森林・林業白書. 222pp. (社) 日本林業協会, 東京

注 釈

- 注1) 2003年度日本建築学会主催技術部門設計競技「火災に強い高層木造建築システム」入選案 (John C.A. Barr, 榎原健一) のアイデアをもとに、実用化開発の共同研究体制を組織化した。
研究代表：小林正美 (京都大学地球環境学堂・教授)
構造計画担当：榎原健一 ((株) SERB・代表), 榎田洋子 (桃李舎一級建築士事務所・代表)
木材加工・製造担当：高木和芳 (トリスミ集成材 (株)・設計本部長)
建築計画担当：小林広英 (京都大学地球環境学堂・助教)
※イギリスにおけるj.Podシステムの開発：John C.A. Barr (John Barr Architect)
- 注2) ・試行建築1, 2: 2004年度京都大学総長裁量経費「京都大学が保有する森林資源の計画的な管理と循環型木造ビルディングシステムの開発に関するプロジェクト」
・試行建築3: 2005年度京都大学総長裁量経費「京都大学(中央) 国際交流センターセミナーハウス新営その他工事」地域でのモデルプロジェクトとして,
・兵庫県: 住宅新構法採用モデル事業・県営住宅建設 (2005年8月-2007年3月) (技術移転先: (協)しその森の木)
・滋賀県: 森の資源研究開発事業・モデル建築建設 (2006年8月-2007年2月) (技術移転先: 甲賀市信楽森林組合)
・愛媛県西条市: 西条市地域防災計画・モデル建築建設 (2007年4月-2008年3月) (技術移転先: 西条市建設業組合)
・和歌山県田辺市: 田辺市間伐材利用促進モデル施設建設 (2007年7月-2008年3月) (技術移転先: 龍神村森林組合)
・京都府北桑田高校(森林リサーチ科): 高大連携実習授業・モデル建築建設 (2007年4月-2008年3月)
- 注3) 引用文献1), 6) による榎原・榎田がおこなったスギ材の実大リブフレームの水平載荷実験では, 1/15radまで耐力の低下がほとんどなく, 軸力を保持しながら最大1/8radまで変形する結果を得ている. 板状製材と薄板鋼板を多数の釘打ちで接合することにより, 変形初期における内側のL型プレートと釘の緊結による耐力保持と, 変形後の釘と木材とのすべり摩擦による応力吸収能力の高いことが報告されている. 試行建築3は, この試験結果で得られた復元力特性を適用して建築確認申請をおこない許可を得た.

(2008年3月31日受理)