九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

木柱材システムパネルの性能整理とP-WooD工法による住宅のデザインモデリング

正木, 哲
九州大学大学院人間環境学府空間システム専攻博士後期課程

播磨, 信二朗
九州大学大学院人間環境学府空間システム専攻修士課程

竹下, 輝和
九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門

https://doi.org/10.15017/20657

出版情報：都市・建築学研究. 18, pp.39-45, 2010-07-15. 九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門
バージョン：
権利関係：

都市・建築学研究　九州大学大学院人間環境学研究院紀要　第18号，2010年7月
J. of Architecture and Urban Design, Kyushu University, No.18, pp.39～45, July.2010

木柱材システムパネルの性能整理とP-WooD工法による住宅のデザインモデリング

A study of new design of timbered house by P-WooD System

正木　哲*，播磨信二朗**，竹下輝和***
Tetsu MASAKI, Shinjiro HARIMA and Terukazu TAKESHITA

In this paper, we introduce a new method of wooden house-construction named as P-WooD system using wooden panels, which is improved from traditional log cabin construction. With this development, it is possible to make a new wooden house design never seen. We developed the system by using wooden panels in order to make construction of houses simple, and this system can provide the more variety of arrangement of rooms than the traditional one. We discuss the novelty of proposal models with the P-WooD system.

Keywords: *New method of construction, Wooden house, Lumber from thinning, modeling*
新工法、木造住宅、間伐材、デザインモデリング

1．研究の背景と目的

近年、木造住宅の果たす社会的役割が拡大している。平成20年に全改定が行われた「京都議定書目標達成計画」においては健全な森林の整備・保全、木材・木質バイオマス利用の推進が森林吸収源対策として位置づけられており、環境的視点から国産材、特に間伐材の積極的活用が求められ[1]、また、平成18年に改正法が施行されたJAS制度によって、間伐材から得られた製材であっても、JAS規格の基準を満たしたものであれば構造材として使用することが可能になったこともあり、間伐材の木造住宅等への利用拡大が喫緊の課題となっている。

一方で、国内で提案された木造住宅の新たな工法は、木材をひき板やストランド等に分解し、接着剤によって再構成したエンジニアリングウッド(以下EW)を使用しているものが多い[2]。EWによって木造住宅の品質は向上したが、一方で、住宅の高気密・高断熱化の影響もあり、一部でシックハウス症候群が社会問題化した。また、EW等の高次加工製品は加工に要するエネルギーが多いことや二次利用が困難であることから環境負荷の増大を招くといった問題も顕在化している。

*　空間システム専攻博士後期課程
**　空間システム専攻修士課程
***　都市・建築学部門

低炭素社会の実現が叫ばれる中、今後はEWを使用せず、木の素材特性(質感、安全性、低環境負荷等)を積極的に活かした木造住宅がが益々重要となってきているが、そのような住宅を実現する新工法開発の取り組みは少ない。

以上の背景より、九州地域のスギ間伐材を積極的に活用する新しい木造住宅工法、P-WooD工法を独自に考案した。本論では、P-WooD工法に用いる「木柱材システムパネル」を対象に、その基本性能を整理するとともに、P-WooD工法による新たな木造住宅のデザインモデルを提案し、その新規性について考察することを目的とする。

2．研究方法

2－1．研究方法

「木柱材システムパネル」(以下本パネル)とは105㎜角あるいは120㎜角の無垢の柱材(特一等級、人工乾燥材、含水率15%以下)を並べ、パネル化したものである。本論では、本パネルの構造性能、本パネルで構成される住宅の空気環境、温熱環境の以上3点を本パネルの基本性能として明らかにする。なお、本研究では構造性能以外の性能に関しては既往研究を基に文献を整理し、調査を行った[注1]。

また、本パネルを用いた新工法、P-WooD工法によって

可能となる新しい木造住宅デザインモデルを提示し、在来工法による住宅との比較検証を行い、P-WooD 工法の新規性を考察する。

２－２．P-WooD 工法の概要

P-WooD 工法とは従来のログ工法の一種で、在来軸組工法に木柱材システムパネルを統合する新しい工法である。具体的には、従来のログ工法が校倉造に代表されるように、材を横に積む「横ログ」方式であったのに対し、P-WooD 工法では、本パネルを木材の繊維方向に使用する「縦ログ」方式を採る。これにより、木材が持つ構造性能を十分に発揮することができ、また、在来軸組工法の軸組みを基本フレームとして柱・梁に落とし込むことにより、従来のログ工法では実現できない自由な平面や高い開口率 (床面積あたりの総開口面積) を確保することができる。

本パネルは無垢の木材の特性を活かして、住宅の構造材、断熱材、仕上げ材を兼ねる単層パネルである。パネル化の手法としては圧着タイプ、雇い実タイプ、ボルト締めタイプの３タイプがある (図 1)。これらのパネルの構成方法によってパネルの構造強度に違いがあり、用途に合わせて構成方法を選択する。圧着タイプは接着剤を使用してパネルを構成し、専用の圧着機で圧着するので面内せん断応力が大きく、耐震壁や床材としての使用方法が考えられる。雇い実タイプは圧着タイプのパネルにパネルの構成材間に雇い実加工したもので、更なる構造強度を見込めるが、加工・作製に手間がかかる。ボルト締めタイプはボルトによる乾式の構成方法で、作製が容易である。しかし、構造強度や高い精度は見込めないため、用途は限られる。本パネルの基本サイズは繊維方向は 3,000 mm、4,000 mm、6,000 mm の３通りで、パネル幅に関しては最小幅はパネルの最小単位である木材２本分であり、最大寸法は圧着機の最大可能圧着幅である 1,200 mm である。

また、本パネルは熊本県山鹿地域の間伐材から得られ、製材は同寸法の集成材よりも歩留まりがよく、使用木材量も多いことから木材を有効に利用することができる (図 2)。

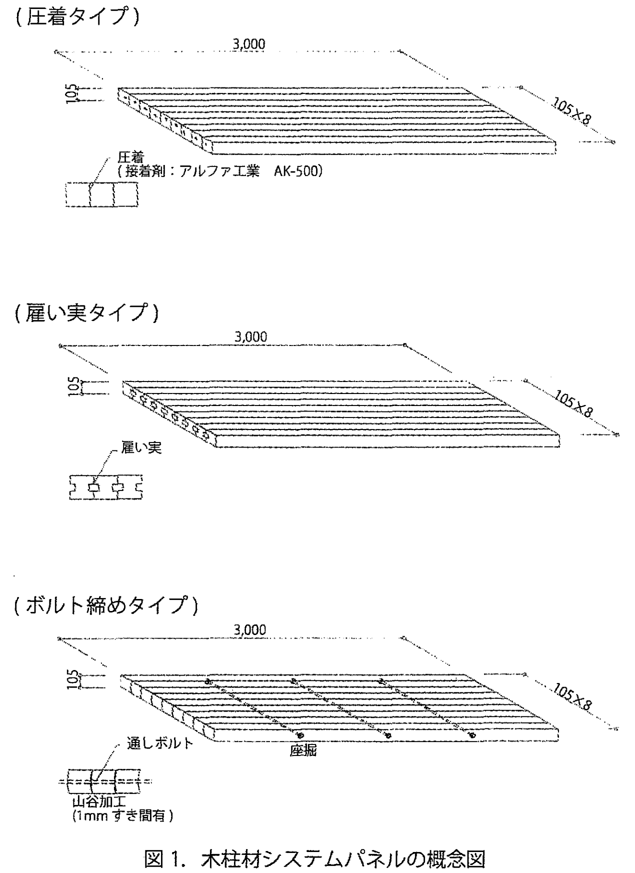


図 1. 木柱材システムパネルの概念図

３．P-WooD 工法の性能整理

木材の基本性能を既往研究より整理し、木柱材システムパネルの基本性能として、①構造性能、②空気環境、③温熱環境・調湿性能の３点に加えて、パネルの④リサイクル性について考察を行った。

①構造性能

本パネルは JAS 認証を取得した、単体でも構造材として使用することが可能な柱材を用いた「縦ログ」方式による構成なので、水平荷重、鉛直荷重ともに負担することが可能である。

本パネル (圧着タイプ) の面内せん断応力は大きく、壁倍率５倍に相当すると見込まれる[注2](表 1)。また、「縦ログ」方式により、水平荷重だけでなく、鉛直荷重を

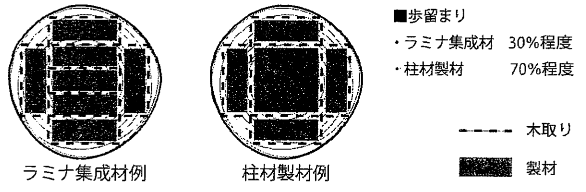


図 2. 木取りと木材製品の歩留まり

表 1. 各耐震壁の壁倍率比較表

耐震壁	壁倍率	構成方法
木柱材システムパネル	5 倍	柱材をエポキシ樹脂モルタルで圧着 (105mm角または120mm角の人工乾燥材、含水率15%以下)
合板両面張り	5 倍	面材を所定の釘とピッチ (N50@150 以下によって、柱・間柱・梁・桁・土台その他の横架材の両面に釘打ち (継目には受け材を設けて釘打ち)
面材張り大壁	2.5 倍	面材を所定の釘とピッチ (N50@150 以下によって、柱・間柱・梁・桁・土台その他の横架材の片面に釘打ち (継目には受け材を設けて釘打ち)
筋違い(片筋違い)	1 倍	筋違い-15mm×90mm以上の木材 端部の仕様：平12建告1460号第1　ロ

出典：参考文献 9) より作成

負担することも可能である。さらに、パネルの高い剛性を活かし、構造材、仕上げ材を兼ねた床材、すなわち、木質の「スラブ」としても使用することができる。

②空気環境

圧着タイプのパネルに使用する接着剤は、ホルムアルデヒドを含まないエポキシ樹脂モルタルを使用しており、本パネルから揮発性有機化合物が発散する恐れは少ない。使用する接着剤量も集成材に比べ少ない（図3)。

③温熱環境・調湿性能

一般に、木材の断熱性能はグラスウール等の断熱材と比較した場合小さい。これは、断熱性能を時間の経過による変化を考慮しない定常状態における熱抵抗で表すためであり、壁厚が120㎜の本パネルの熱抵抗をグラスウール16Kに換算すると50㎜程度である。しかし、実際の室内環境のように時間の経過による変化を考慮する非定常状態においては、材料の熱拡散率、容積比熱を考慮すると、木材は熱拡散率が小さいため、熱が伝わる速度が遅く、温度に対する反応に遅れが生じ、結果的に熱を貯めることができる。また、壁体の容積比熱が空気の容積比熱に比べて大きいため、室内の温度の変動は小さくなり、換気によって内部に流入した冷たい空気は、温かい壁体によって速やかに温められ、従前の室温に戻る。これらの効果により、熱抵抗が小さい本パネルを外壁に使用した場合でも内部の温熱環境を一定に保つことが可能となると考えられる[3) 4)]（表2)。

調湿性能に関しては、本パネルは仕上げ材を兼ねているため、木そのものの調湿効果が期待される。また、本パネルは在来軸組工法の大壁構造に代表される複層壁とは異なり、柱材のみの単層壁であるため、内部結露の恐れは生じない（図4)。

④リサイクル性

一般的な木造住宅では、壁面に木材以外にもグラスウール、石膏ボード、構造用合板、仕上げ材等の様々な資材が用いられているため、解体時に多種の解体材が発生し、分別は非常に困難となる。しかし、本パネルを壁面に用いた住宅では、壁面が柱材のみ、あるいは柱材とボルトのみで構成される単層壁であるため、従来の複層壁に比べて分別は単純化され、再利用、あるいは板材や燃料、紙材等へといったカスケード利用も従来に比べ容易に行うことができる（図5)。パネルの再利用や、カスケード利用は、木材がもつ炭素貯蔵効果を持続させることになり、長期の間、地上に大気中の二酸化炭素を固定し、木造住宅の低炭素化を実現する方法である。ただし、接着剤を用いた圧着タイプの本パネルは、解体が難しいため二次利用が困難である。圧着タイプのパネルを使用する際には、パネルの再利用を想定することが望ましい。パネルの耐用年数を向上させる工夫が求められる。リサイクルの観点から解体が容易で二次利用も簡単なボルト締めタイプの使用が望ましいが構造性能に課題がある。

4．P-WooD工法による住宅のデザインモデリング

P-WooD工法による住宅のデザインモデルとして、5つのデザインモデルの提案を行った（表3)。a. 在来軸組工法と統合した住宅モデルに加え、b. 壁柱としてパネルを活用した住宅モデル、c. 曲面パネルを活用した住宅モデル、d. 木スラブとしてパネルを活用した住宅モデル、e. RC造との混構造の住宅モデルの計5つの住宅モデルを以下に提案し、デザインモデルの可能性やその新規性を検証する。

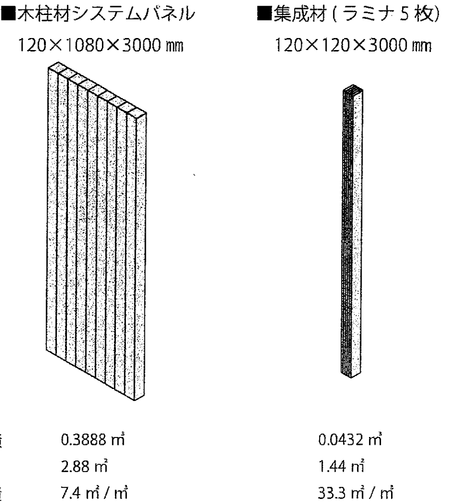


図3. 単位体積あたりの接着面積比較

表2. 各材料の密度、熱伝導率、比熱、熱拡散率、容積比熱

材料	密度ρ(kg/m³)	熱伝導率λ(W/mK)	比熱c(J/kgK)	熱拡散率α	容積比熱(kJ/m³K)
押し出し発泡ポリスチレンフォーム	28	0.037	1500	0.88	42
グラスウール16K	16	0.044	840	3.27	13.44
コンクリート	2200	1.1	880	0.57	1936
合板	550	0.15	1300	0.21	715
スギ	450	0.10	1760	0.13	792
空気	1.2	0.022	1000	18.33	1.2

出典：参考文献3)、4)より作成

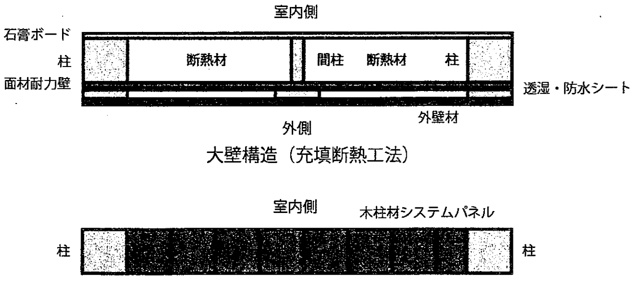


図4. 大壁構造との外壁仕様比較

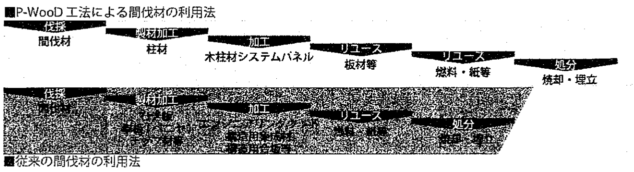
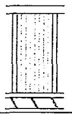
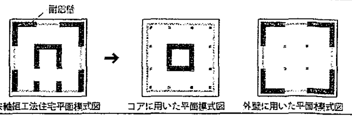
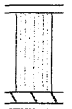
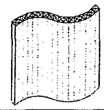
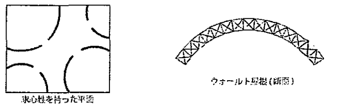
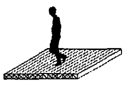
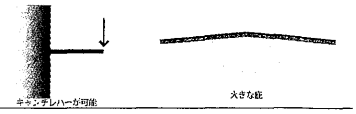
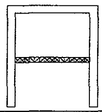
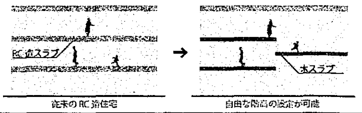


図5. カスケード利用

表 3. P-WooD 工法のデザインモデリング

モデル		概要	性能との関連	住宅デザインの可能性	
a.		壁倍率が 5 倍 (推定値) である圧着タイプの本パネルを利用し、在来軸組工法の耐震壁として用いる。	◎構造性能 リサイクル性	必要壁量を最小限に抑えることができる。コア、外壁に耐震壁をまとめることで開放的な平面が可能。	
b.		水平荷重と鉛直荷重を負担する壁柱として用いる。土台なしで直接パネルと基礎を剛接合する。	◎構造性能 温熱環境	外壁で水平剛性を確保し、内部空間は壁柱による連続した空間構成が可能。	
c.		パネルを構成する正角の断面を台形に加工し、それらを並べて圧着することで曲面パネルができる。	◎構造性能 温熱環境	求心性をもった空間、緩やかに連続する空間が可能。屋根に用いることでヴォールト天井も可能。	
d.		本パネルを在来軸組工法の中で「木スラブ」として使用する。	◎構造性能 温熱環境	大きな吹き抜けやキャンチレバーが可能。屋根に用いることで大きく庇を出すことも可能。	
e.		RC 造のスケルトンにインフィル (床、壁) として本パネルを用いることで、それぞれの材料の長所を活かす。	◎温熱環境 リサイクル性	階高の設定や、吹き抜け位置などを自由に決めることができる。	

なお、デザインモデルの立案にあっては、本パネルの特性を活かしたモデルを前提として行った。特に、本パネルは構造性能が優れていることから建築物の主要な構造体（壁・床）として使用することを前提としている。

a. 耐震壁としてパネルを活用した住宅モデル

本パネルを在来軸組工法の耐震壁として用いる[注3]ことで、必要壁量を最小限に抑えることが可能なモデルである (図 6)。ここでは、住宅の耐震要素をコアとして集約した場合と、外壁に使用する場合を考えられる。

a－1) パネルを耐震コアとして集約する住宅モデル

水平荷重を負担する耐震要素を階段や水廻り等のコア部分に集約することでコア以外の壁は制約されない開放感のある間取りが可能となる。

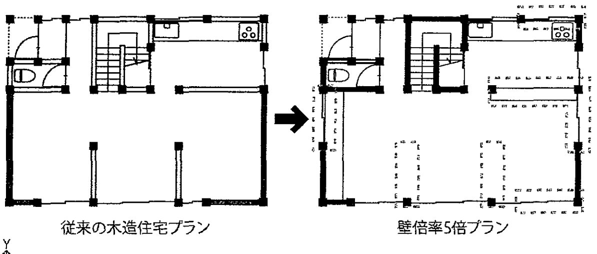
a－2) パネルを外壁に用いた住宅モデル

外壁に耐震壁を配置することで、内部空間は柱で鉛直荷重のみを受ければよいため、各階共に耐震壁の配置に制限されず、仮設的な間仕切り壁や引き戸、本棚等で仕切るといった、可変性のある内部空間が実現する。

しかし、在来軸組工法は、特殊な場合を除き壁量計算により構造性能の確認を行う。上記のいずれの場合も、1、2 階共に必要壁量を満たし、バランス良く耐震壁を配置し偏芯率に注意することが肝要である。

b. 壁柱としてパネルを活用した住宅モデル

本パネルの構造性能を活かし、水平荷重と鉛直荷重を負担する壁柱として用いるモデルである。基礎に予め異形鉄筋を埋め込み、土台なしで直接パネルと基礎を接合接合するＴ・Ｋ・Ｓ構法や、ホームコネクターを使用して接合部の剛接合化を図ることで２×４工法のようなモノコック構造を実現する (図 7)。土台をなくすことにより、荷重を直接基礎に伝えることで土台のクリープの問題を解決できるが、床下換気孔の確保は問題である。基礎に換気孔を設けるか、土間コンクリート床を設けて床下換気孔を無くすなどの工夫が求められる。また、配置するパネルの角度を振ることで、様々な方向に配置された壁柱によって各空間を仕切りながらも全体として連続した空間、といった従来の木造住宅では実現が難しい空間構成も可能である。



条件:一般地域、軟弱でない地盤に建つ総2階建て、軽い屋根、特定行政庁が特に風が吹くとして定めた地域以外の地域

	必要壁量		存在壁量	
	X方向	Y方向	X方向	Y方向
壁倍率5倍プラン	14.5m	23.1m	27.3m	50.0m
従来の木造住宅プラン			16.3m	24.5m

図 6. 従来の木造住宅との比較

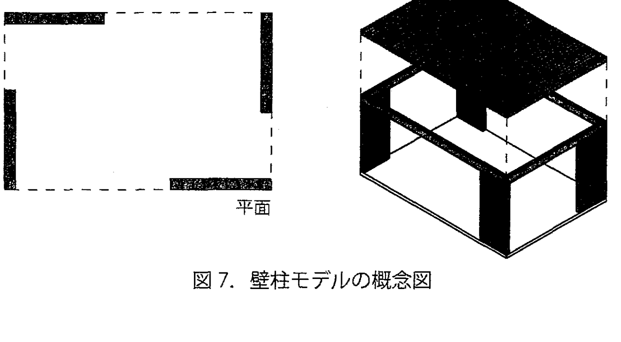


図 7. 壁柱モデルの概念図

c. 曲面パネルを活用した住宅モデル

パネルを構成する正角の断面を台形に加工し、それらを並べて圧着することで曲面パネルができる（図8)。住宅における単位空間の面積を目安に、パネルの曲率を図9の通りに設定した。この5種類の曲面パネルを組み合わせて用いることで、用途に応じて様々な曲面や大きさの空間をつくることができるモデルである。この曲面パネルによって、求心性をもった空間、あるいは、緩やかに連続する空間が可能である。屋根に用いることでヴォールト天井も可能となる。パネルの加工により、木材の歩留まりは微量ではあるが減少する（表4)。

d.「木スラブ」としてパネルを活用した住宅モデル

本パネルを在来軸組工法の中で「木スラブ」として使用するモデル[注4]である。従来の木造住宅の床構造は梁、根太、床、さらに吊木、野縁、天井など複雑な構成をした床組みであり、「スラブ」の概念はなかった。このモデルでは、パネルの剛性を活かして大きな吹き抜けや「木スラブ」のキャンチレバーによる軽やかな空間が可能となり、木造住宅に新しい意匠性を獲得する（図10)。

在来軸組工法の床組みは複雑な構成で天井懐がある程度必要となるが、本パネルを木パネルとして用いることで105㎜厚の構造材、仕上げ材が一体となった天井懐の無い単純な構成が可能となる（図11)。これにより、同じ階高でも高さ方向に広がりのある空間や、構造を表した端正な意匠が実現できる。パネルは仕上げ材を兼ねるため、フローリング材としてスギ材の柔らかさや弾力性、熱伝導率の小ささ等の素材の特性を活かすことができる。また、パネルの継ぎ目を雇い実加工とすることでパネル間に生じる隙間や床のたわみを防止する。

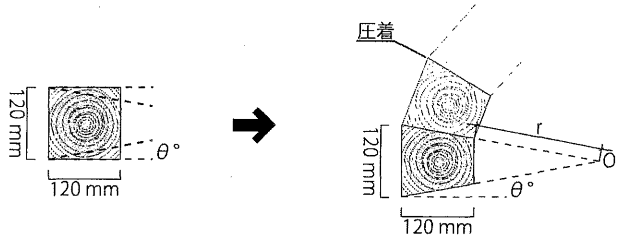


図8. 柱材の台形加工と曲面パネル

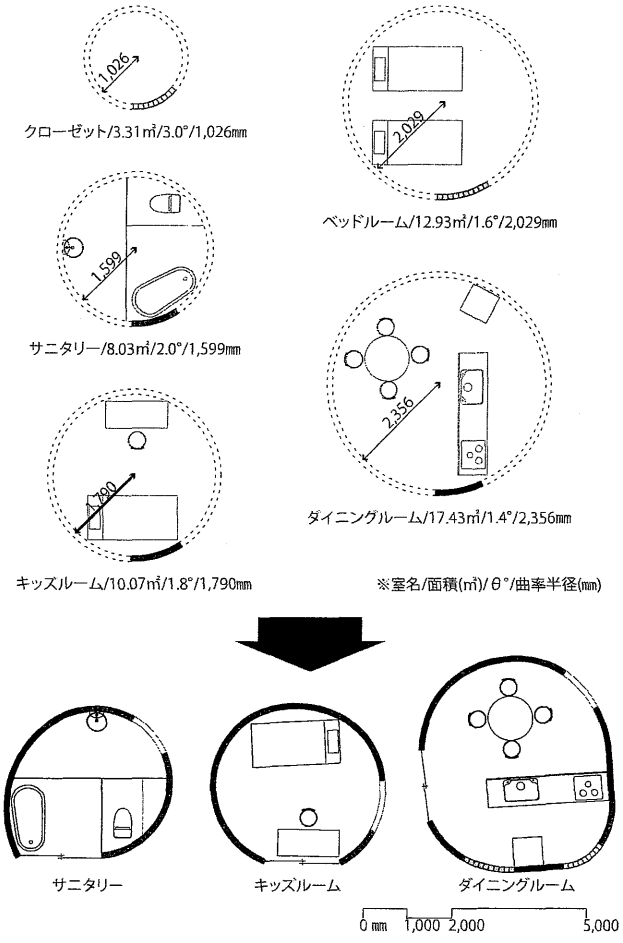


図9. 各曲率のパネルと単位空間の関係

表4. 歩留まりと曲率半径の関係

	θ°	曲率半径 r (mm)	面積（㎡）	歩留まり (%)
typeA	3.0°	1,026	3.31	67.7
typeB	2.0°	1,599	8.03	68.4
typeC	1.8°	1,790	10.07	68.6
typeD	1.6°	2,029	12.93	68.8
typeE	1.4°	2,356	17.43	68.9
正角	0°			70.0
集成材	0°			約30.0

※歩留りは原木末口 190 ㎜、長さ 3000 ㎜の場合

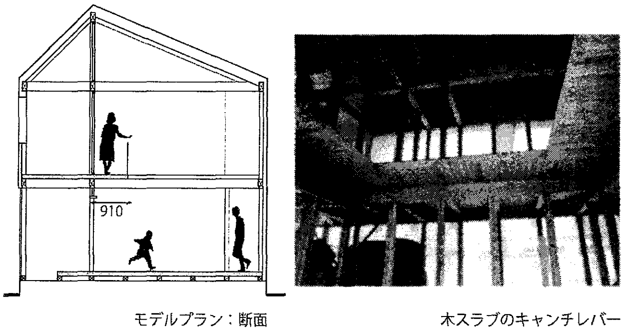


図10. 木スラブとしてパネルを活用したモデル
（施工例「響きの家」）

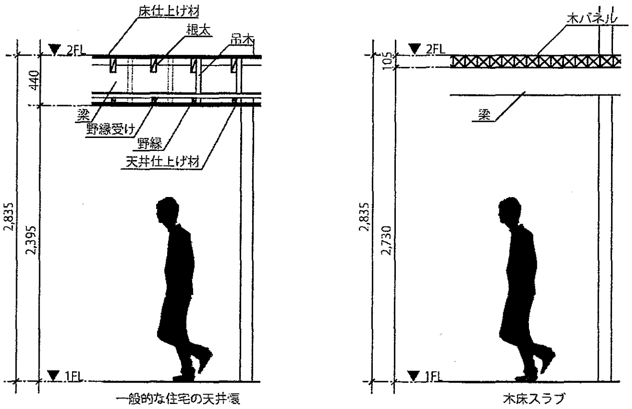


図11. 天井懐の比較

e. RC造との混構造の住宅モデル

スケルトンとしてRC造を用い、インフィル(木スラブ、内壁)として本パネルを用いることで、それぞれの材料が持つ長所を活かしたモデルである。一般的なRC造住宅の場合、床や壁等の矩体が一体となるため、大規模な改変は困難であるのに対し、本モデルでは、本パネルをインフィルとして用いてRC造のフレームに木スラブを差し込み、本パネルの壁を建てる単純な内部構造によって居住空間の改変を容易に行うことができる。階高や吹き抜けの位置などに自由度がある（図12)。

スケルトンであるRC造が耐火構造物となるため、防火地域や準防火地域などの都市部においても、建設が可能でありながら、内部空間は木による居住空間を実現することができる（図13、14)。

5．まとめ

本研究では、「木柱材システムパネル」の性能を明らかにし、その上で新しい木造住宅のデザインモデルの提案を行った。「木柱材システムパネル」は木材の素材特性を積極的に活かすことが可能な新しい木質建材で、床や壁の仕上げとして使用されることでスギの断熱性や調湿性を最大限に発揮した快適な住宅空間を構成することが可能であると考えられる。柱材を束ねてパネル化することによって、住宅の構造体として利用でき、パネル単体として耐震壁や床スラブとして用いることで従来の木造住宅の複雑化していた壁や床の構造を単純化し、「木スラブ」といった新しい概念を創出するなどの意匠面の新規性だけでなく、工法の簡略化を実現している。

さらに、木材をふんだんに使ったパネル化工法は戸当たりの木材使用量の向上を実現し、また、パネル化による壁や床構造の単純化は、工種の削減による工期の短縮、使用材料の削減を実現していることから木造住宅の更なる炭素貯蔵効果、省エネルギー効果の向上を期待できる。

以上より、「木柱材システムパネル」を用いたP-WooD工法は、従来の木造住宅では実現が難しかった意匠性を獲得し、新工法として新規性のある木造住宅工法であると考えられる。

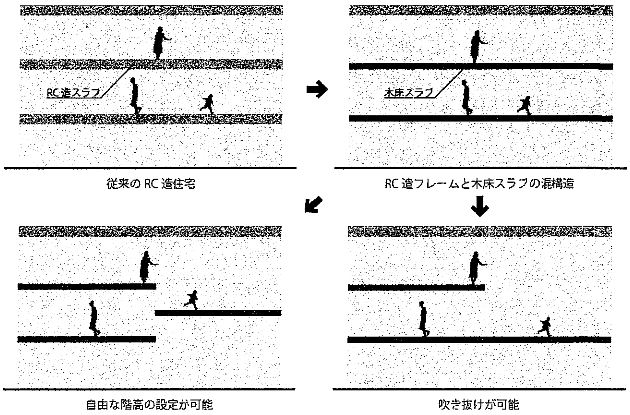


図12. RC造との混構造の改変例

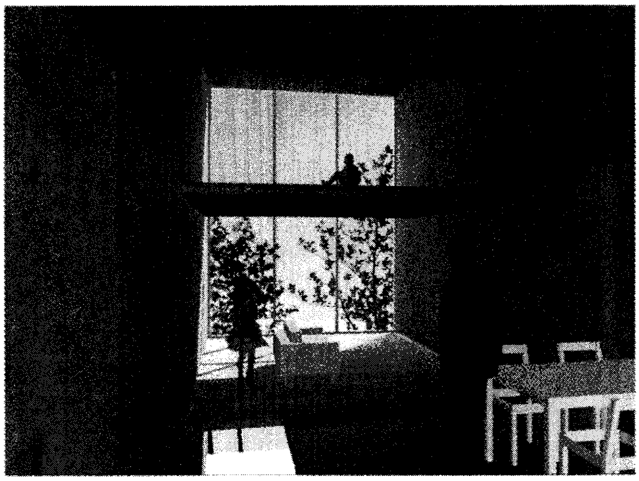


図13. RC造との混構造住宅の内観イメージ

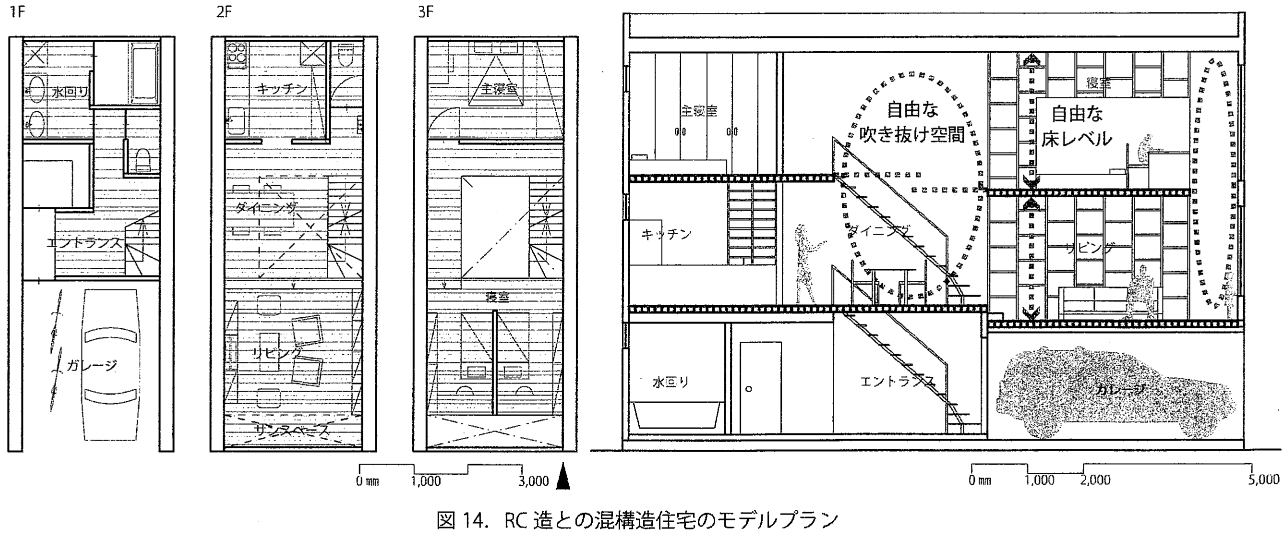


図14. RC造との混構造住宅のモデルプラン

注

1. P-WooDパネルは柱材のみで構成されたログシステムの単層パネルであるため、その性能は木材そのものの性能に大きく左右される。使用する木材の樹種はスギであり、本研究ではスギの性質に関する既往研究を参考にパネルの性能を整理している。

2. 平成16年に熊本県林業研究指導所にて「木造軸組工法住宅の許容応力度設計」(財団法人日本住宅・木材技術センター偏)第2章「木造軸組工法住宅の各部要素の試験方法と評価方法」(2008年度版では「第6章試験方法と評価方法」に該当)に基づき、P-WooDパネルの面内せん断試験を行っている。試験の結果、短期許容せん断耐力Paは12.8 kN、壁倍率の算定結果は6.8倍であった。ただし、供試体数は1なのでばらつき係数が考慮されていないこと、また、柱脚部の先行破壊を防ぐため基礎とボルトによる固定を行いホールダウン金物などは使用していない。

3. 先行事例に「柿林の家・池田邸」(2005年竣工、立地は都市計画区域外)がある。本事例では、外壁に120 mm厚のパネルを使用し、屋内の内壁には105 mm厚のパネルを使用している。
使用したパネルはボルト締めタイプのもので、壁倍率を1.0倍(木摺り壁と同等)と見なし壁量計算を行っている。在来軸組工法との統合に関して、本施工例も該当するが、従来の910 mmグリッドで間取りを行い、柱位置を決める場合、パネル幅と柱間の内法寸法が一致しない問題がある。例えば、柱径寸法120 mm角、柱芯寸法910 mmの柱間に収まるパネルの柱材構成本数は、120 mm角の柱材を用いた場合、7.58本となり、柱材8本でパネルを構成後、パネル幅を整える加工手間が発生し、歩留まりが悪くなる問題がある。そのため、本工法においてはパネル幅にパネル幅に合わせてグリッドのモジュール寸法を設定するなど、設計方法に課題がある。

4. 先行事例に「響きの家」(2008年竣工)がある。その他に、公立小・中一貫校施設の普通教室棟の2階床材に使用した実績がある。

参考文献

1) 林野庁HP、URL: http://www.rinya.maff.go.jp/
2) 正木哲、富田昌平、竹下輝和：低炭素社会型木造住宅の開発研究 近年の木造住宅における開発動向と柱材システムパネル工法の検証、2009年01月
3) 今村祐嗣 川井秀一 則元京 平井卓郎：建築に役立つ　木材・木質材料学、東洋書店、1997年12月
4) 浦野良美　中村洋(編)：建築環境工学、森北出版株式会社、1996年06月
5) 株式会社RHS技術研究所HP　URL: http://homepage2.nifty.com/rhs/
6) 林知行：ウッドエンジニアリング入門、学芸出版社、2004年03月
7) 稲山正弘：木の構造デザイン入門、pp137-143、2005年07月
8) 木質構造の設計　学びやすい構造設計、日本建築学会　関東支部、株式会社技報堂、2008年01月
9) 木造軸組工法住宅の許容応力度設計、財団法人日本住宅・木材技術センター、2008年12月

(受理：平成22年6月10日)