

木質複合構造の耐火性能に関する研究

(その1) 耐火構造の実験的確認方法

Fire resistance of the hybrid wooden structure (I)

Experimental methods for confirming the fire resistance of the fire proof structural elements

遊佐秀逸¹⁾, 増田秀昭²⁾, 並木勝義³⁾,
川合孝明²⁾, 大貫寿文²⁾, 上杉三郎⁴⁾

Shuitsu Yusa, Hideaki Masuda, Yoshitomo Namiki,
Taka-aki Kawai, Toshifumi Ohnuki, Saburou Uesugi

要旨：建築基準法の性能規定化により，性能を満たせば木材等を複合させた資材についても，耐火性能を有した資材としての使用が可能となった。そこで三重県科学技術振興センター林業研究部では，木材の新用途の開発と需要の拡大を図るため，国土交通省国土技術政策総合研究所及び独立行政法人建築研究所等と協働して，各種断面の木質複合構造の試験体を作製し，耐火性能を確認するための試験を実施した。試験の結果，鋼材を木材で被覆した仕様及び集成材を石膏ボード等で被覆した仕様において耐火1時間の性能が確認された。その中から鋼材を木材で被覆した仕様の耐火性能を中心に，(その1)から(その5)にかけて報告する。

はじめに

木造建築物については，1992年6月26日成立の「都市計画法及び建築基準法の一部を改正する法律」により，木造を含む耐火構造以外の構造で，耐火構造に準ずる耐火性能を有するものとして準耐火構造という耐火性能の等級が規定された。これにより，防火地域においては階数2以下で延べ面積100㎡以下，準防火地域では階数3以下で延べ面積1500㎡以下の3階建の戸建住宅や共同住宅を木造の準耐火建築物で建設することが可能となった。さらに，1998年6月12日に公布・施行された「建築基準法の一部を改正する法律」により改正された建築基準法（以下，「新法」という。）では，建築基準の性能規定が導入され，建築材料の不燃性能や耐火構造の耐火性能等が法令で明記され，その性能を満たす建築材料や建築設備，構造方法であれば，木質系材料，構造でも用いることができる自由度の高い設計が可能となった。すなわち，法律に規定された耐火性能の技術的基準を防火被覆等の措置により満たすことができれば，木造の耐火建築物を建設することも可能となった。

三重県科学技術振興センター林業研究部では，木材の新たな利用技術を開発するため，木質複合構造材の開発研究を実施していたが，国土交通省国土技術政策総合研究所及び独立行政法人建築研究所においても同様の研究が進められていたため，双方が協働し研究を実施した。

国土交通省国土技術政策総合研究所及び独立行政法人建築研究所では，「木質複合建築構造技術の開発」プロジェクトにおいて，木質ハイブリッド構造の構造分野での検討とともに，防火分野では以下の3項目を目標に研究を進めていた。

-
- 1) 財団法人 ベターリビングつくば建築試験センター 4) 独立行政法人 森林総合研究所
2) 独立行政法人 建築研究所
3) 三重県科学技術振興センター林業研究部

(1)市街化区域（防火地域，準防火地域等）で，5階建て以上の木質ハイブリッド構造の事務所建築物が，プロジェクト終了時（現行建築基準法に適合）に建築可能となるような構造方法を見いだすとともに，性能に基づく評価法を開発する。

(2)構造分野で検討されている各種構造案に対して，防火規制の観点からの実現可能性を評価し，プロジェクト終了時までに建築可能な構造方式を明確化する。

(3)木質ハイブリッド構造の普及に関して，将来の法令改正等に役立つ資料を整備し，具体案を提言する。

木質系の耐火建築物を実現するためには，その主要構造部を耐火構造とするか，耐火性能検証法によりその耐火性能を確認する必要がある。ここでは，前者による検討結果を報告する。

本報（その1）では耐火構造の実験的確認方法及び結果の概要を，（その2）では「鋼製柱を木質系材料で耐火被覆した仕様について」，（その3）では「燃え止まり柱部材の耐火性能」，（その4）では「燃え止まり梁部材の載荷加熱試験」，（その5）では「2時間耐火性能を有する柱部材試験」，について記述している。本報告は平成15年度日本火災学会研究発表会（遊佐ら 2003，増田ら 2003，川合ら 2003）及び2003日本建築学会大会（東海）（遊佐ら 2003，川合ら 2003）で発表した内容を改変したものである

実験方法

建築物の部分と建築物の階に対して建築基準法施工令が要求している耐火時間（非損傷性）は表-1のとおりである。

表-1. 要求耐火時間（非損傷性）

建築物の部分		建築物の階		
		最上階及び最上階から数えた階数が2以上で4以内の階	最上階から数えた階数が5以上で14以内の階	最上階から数えた階数が15以上の階
壁	間仕切壁 (耐力壁に限る。)	1時間	2時間	2時間
	外壁 (耐力壁に限る。)	1時間	2時間	2時間
柱		1時間	2時間	3時間
床		1時間	2時間	2時間
はり		1時間	2時間	3時間
屋根		30分間		
階段		30分間		

注) 上記時間の加熱後，非損傷性を保持しなければならない（準耐火構造等と異なる）。

ここでは，上記の建築物の部分のうち，柱の1時間耐火構造についての実験的確認を行った。

試験に供した木材は、スギ集成材、ベイマツ集成材、カラマツ集成材、タモ集成材及びナラ集成材である。耐火構造を目標とする柱部材については、

- (1)各集成材を石膏ボード、軽量モルタル及び発泡材等の無機系被覆材で被覆するもの
- (2)発泡性耐火塗料、木材等の有機被覆材で被覆するもの
- (3)構造体として鋼材を用い、木材等で被覆するものとした。

各集成材の密度及び含水率を表-2 に示す。

表-2. 密度と含水率

樹種	密度 (g/cm ³)	含水率 (%)
スギ	0.39	12.0
ベイマツ	0.51	12.8
カラマツ	0.56	11.5
タモ	0.64	9.6
ナラ	0.67	未計測

第1段階として、長さ1mの柱部材を建築研究所の水平炉に設置し、各指定性能評価機関が定める業務方法書に規定する耐火構造の試験方法に準拠する試験を基本とした。すなわち、IS0834に規定する標準加熱曲線に従って1時間の加熱を行い、その後3時間炉内に放置して耐火性能を確認する方法を採った。ここでは、いわゆる燃え止まり性能を確認するため、炉内から試験体を取り出した後も部材の温度測定を継続して実施した。また、原則として各試験体の炉内設置の間の重量減少を計測した。実験は、建築研究所水平炉を用いて実施した。装置の概要を図-1に示す。

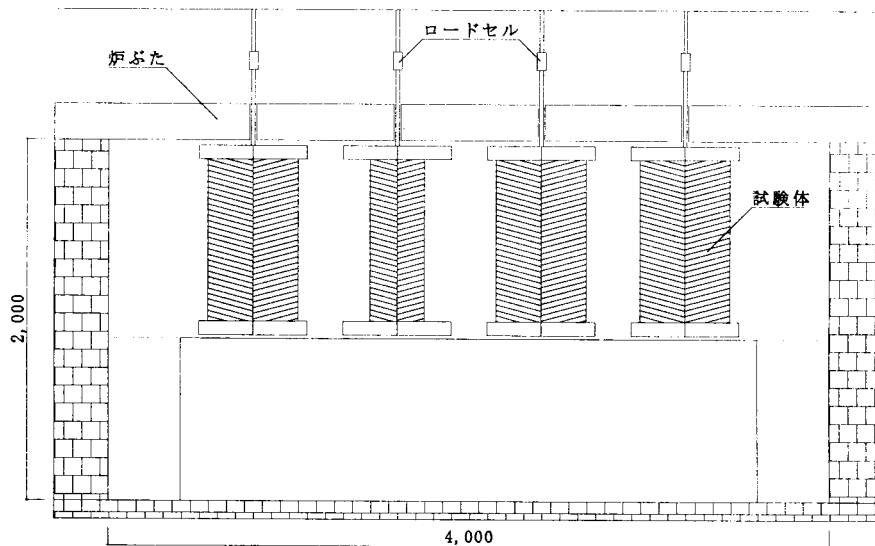


図-1. 水平炉による実験概要
(試験体最大4体の場合)

実験結果及び考察

これまでに実施した実験の試験体及び結果の概要を表-3に示す。今回試みた耐火塗料や難燃処理木材で被覆したものでは、耐火性能の確認には至らなかった。主な試験体の断面図を図-2に示す。

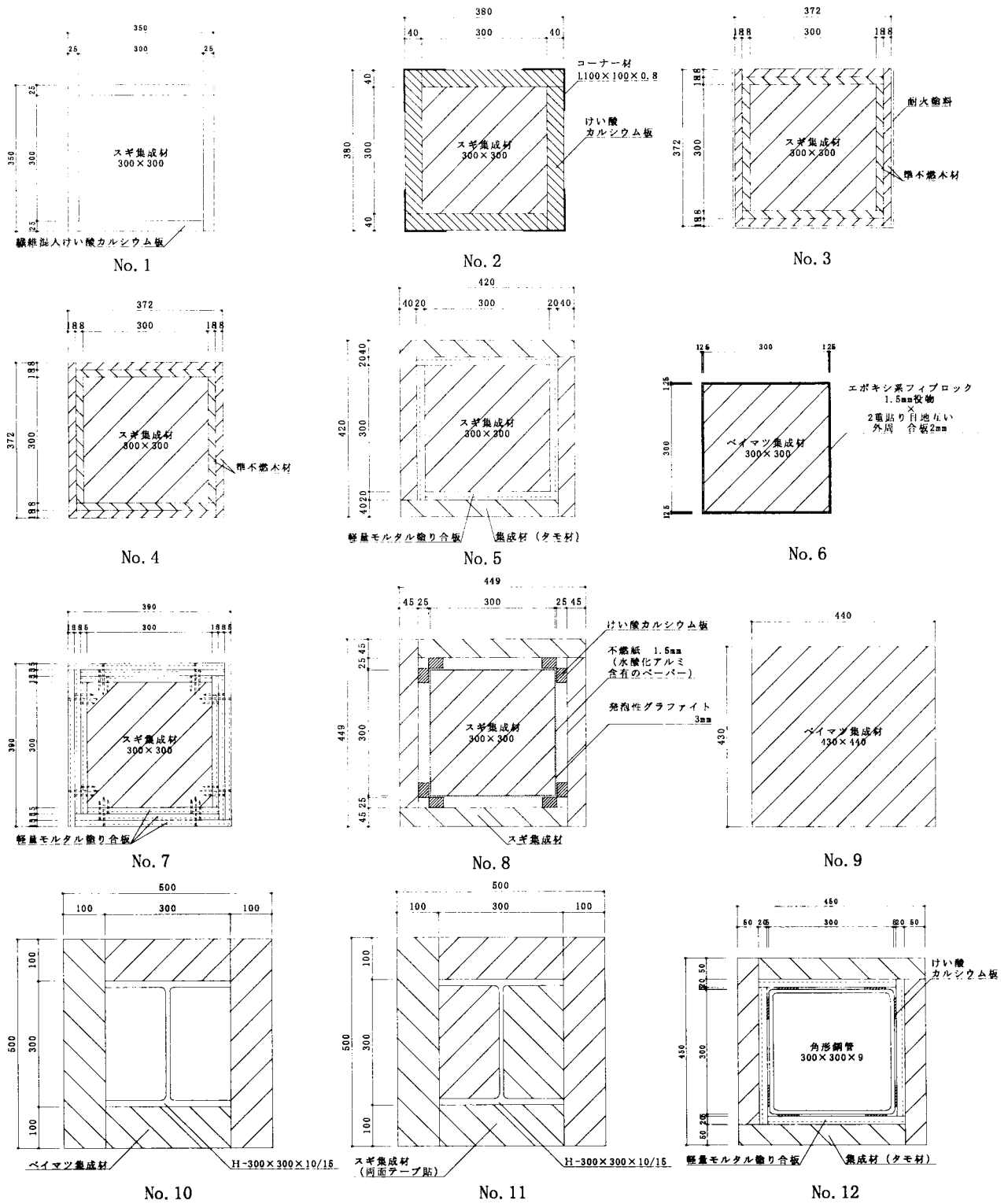


図-2. 試験体断面図

これらのうち、ここでは一例として、角形鋼管を市販の防火材料及びタモ集成材又はナラ集成材で被覆したものを報告する（大貫ら 2002）。

鋼材温度の測定結果を図-3、重量減少速度を図-4に示す。この試験体のねらいは、1時間後に約950℃になる高温の構造体への熱の浸入を、木材の炭化断熱層で防御し、その後の熱分解等による被覆材の発熱による影響を軽量セメントモルタル層及び5mmの中空層で阻止するというものである。最も外側のタモ集成材又はナラ集成材の厚さを炭化速度約0.6mm/minとして、50mmに設定した。

図-3の鋼材温度の測定結果から、その最高温度が約400℃であるので、載荷加熱試験を実施すれば、当該柱の崩壊温度が約500℃であることより、1時間の耐火構造としての性能を有する可能性は大であることが解る。図-4の重量減少速度測定結果では、加熱開始後から加熱を停止する60分までは、タモ集成材及びナラ集成材の燃焼により、20mm厚の試験体では約0.75kg/min、15mm厚の試験体では約0.3kg/minの減少速度を維持し、加熱停止後は90分までに激減し、240分まで約0.1kg/minで推移していることが見てとれる。

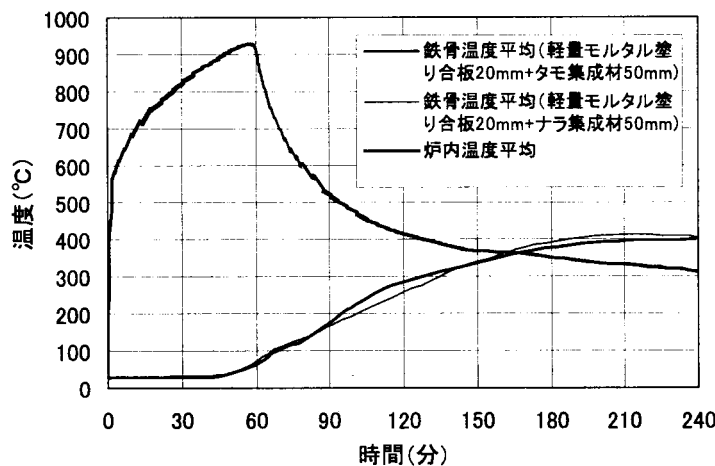


図-3. 温度測定結果

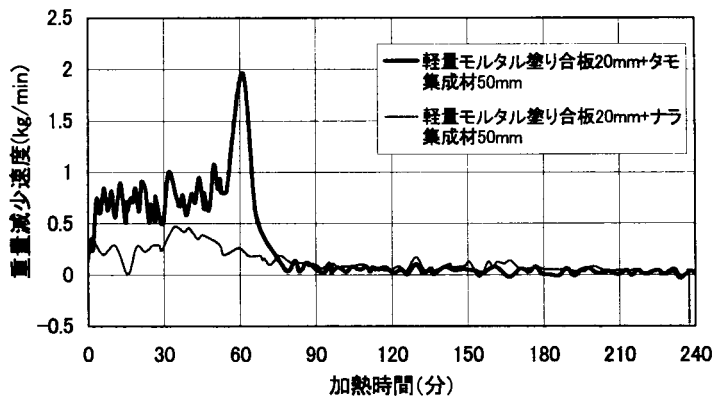


図-4. 重量減少速度の結果

表-3. 試験体及び結果の概要

部材	芯材	被覆材	実験結果	今後の対応・備考	図番号
(1)木柱(集成材)耐火被覆	スギ集成材	けい 酸カルシウム板20mm	燃え止まらず	無機耐火被覆材は蓄熱性があるため、燃え止まらず熱分解・燃焼が促進傾向。	NO.1
	スギ集成材	けい 酸カルシウム板25mm	燃え止まらず	無機耐火被覆材は蓄熱性があるため、燃え止まらず熱分解・燃焼が促進傾向。	NO.1
	スギ集成材	けい 酸カルシウム板40mm	燃え止まらず	無機耐火被覆材は蓄熱性があるため、燃え止まらず熱分解・燃焼が促進傾向。	NO.1
	スギ集成材	けい 酸カルシウム板40mm+コーナー材(1100×100×0.8)			NO.2
	スギ集成材	準不燃処理木材	燃え止まらず	この程度の難燃処理木材被覆では、性能得られず。	NO.3
	スギ集成材	準不燃処理木材+耐火塗料	燃え止まらず。炭化の程度は上より	上記仕様より、かなりの性能が有りそうであるが、今後の材料開発に時間を要する。	NO.4
	スギ集成材	軽量モルタル塗り合板20mm+集成材(タモ材)20mm	燃え止まらず		NO.5
	スギ集成材	軽量モルタル塗り合板20mm+集成材(タモ材)40mm	燃え止まらず	軽量モルタル層のひび割れと蓄熱が懸念。	NO.5
	スギ集成材	発泡黒鉛シート(1枚貼付)	燃え止まらず	コーナー音漏れ点となる。	
	ベイマツ集成材	発泡黒鉛シート千鳥2層貼付	1時間耐火性能有り	材種の検討を経て、H15年度に、材、柱実大部体実験実施予定。	NO.6
	ベイマツ集成材	発泡黒鉛シート千鳥2層貼付	燃え止まらず		NO.6
	スギ集成材	発泡黒鉛シート千鳥2層貼付	燃え止まらず		NO.6
	スギ集成材	発泡黒鉛シート千鳥2層貼付	1時間耐火性能有り		
	スギ集成材	軽量モルタル塗り合板(構造用合板7.5mm+防水シーラー0.5mm+軽量セメントモルタル12mm)20mm×3	(1時間耐火性能有り)	材種の検討、被覆詳細の検討を経て実大部体による実験を実施。	NO.7
	スギ集成材	発泡黒鉛シート+集成材(スギ)50mm	燃え止まらず 発泡黒鉛シート、1枚	共同住宅建設WGとの協議。	NO.8
	スギ集成材	発泡黒鉛シート+集成材(スギ)45mm	燃え止まらず		NO.8
	スギ集成材	軽量モルタル塗り合板20mm+集成材(タモ材)50mm	燃え止まらず		NO.5
	スギ集成材	軽量モルタル塗り合板(構造用合板7.5mm+防水シーラー0.5mm+軽量セメントモルタル7mm)15mm×3	燃え止まらず		NO.7
	スギ集成材	軽量モルタル塗り合板(構造用合板7.5mm+防水シーラー0.5mm+軽量セメントモルタル12mm)20mm×3	1時間耐火性能有り		
	ベイマツ集成材				NO.9
	スギ集成材	強化せっこうボード12.5mm×3+合板12mm	1時間耐火性能有り		
	スギ集成材	強化せっこうボード12.5mm×2+せっこうボード9.5mm+合板12mm	1時間耐火性能有り		
	スギ集成材	強化せっこうボード12.5mm×2(コーナー部のみ12.5mm×3)+合板12mm	1時間耐火性能有り		
スギ集成材	せっこうボード9.5mm×3+合板12mm	燃え止まらず			
スギ集成材	強化せっこうボード12.5mm+せっこうボード9.5mm×2+合板12mm	1時間耐火性能有り			
スギ集成材	強化せっこうボード15mm×2+合板12mm	燃え止まらず(コーナー部のみ長時間付)			
(2)H形鋼木被覆	H300×300×10/15	ベイマツ集成材100mm(中空部貼り)	1時間耐火性能有り		NO.10
	H300×300×10/15	ベイマツ集成材60mm	1時間耐火性能有り		
	H150×75×5/7	ベイマツ集成材60mm	1時間耐火性能有り		
	H300×300×10/15	スギ集成材60mm	燃え止まらず	炉外で3日観察の結果、鋼材温度最高値200℃程度。	
	H150×75×5/7	スギ集成材60mm	燃え止まらず	下部被覆材が炉内で脱落したため、鋼材温度300℃以上。	
	H300×300×10/15	スギ集成材100mm(両面テープ接着)	燃え止まらず		NO.11
	H300×300×10/15	カラマツ集成材60mm	1時間耐火性能有り		
	H150×75×5/7	カラマツ集成材60mm	1時間耐火性能有り		
(3)角形鋼管	角形300×300×9	軽量モルタル塗り合板20mm+集成材(タモ材)50mm	1時間耐火性能有り	鋼材と軽量モルタル塗り合板の間5mmの空隙あり。構造的な木質・ハイブリッドではない。	NO.12
	角形300×300×9	軽量モルタル塗り合板5mm+ラワン合板21mm×2	1時間耐火性能有り	鋼材と軽量モルタル塗り合板の間5mmの空隙あり。構造的な木質・ハイブリッドではない。	NO.12

まとめ

- (1) 耐火構造の有機系材料に対する要求条件である、いわゆる「燃え止まり」について、いくつかの仕様に対して性能確認が実施できた。
- (2) 「燃え止まり」の判定は、現行の業務方法書では不十分となる恐れがあり、その性能の確認方法の検討が必要である。
- (3) 木質系耐火被覆材料の応用範囲が拡大できた。

今後の課題

- (1) 実大部材の試験体による施工法等の検討
- (2) 柱，梁，接合部の性能確認
- (3) 燃え止まり判定方法の具体化
- (4) 2時間耐火構造の開発

文献

- 川合孝明・遊佐秀逸・増田秀昭・上杉三郎・並木勝義. 2003. 木質ハイブリッド構造の耐火性能に関する研究（その3）鋼製柱を木質系材料で耐火被覆した仕様について. 平成15年度日本火災学会研究発表会概要集, 114-117.
- 川合孝明・遊佐秀逸・増田秀昭・大貫寿文・上杉三郎・並木勝義. 2003. 木質系構造の耐火性能に関する研究（その3）鋼製柱を木質系材料で耐火被覆した仕様について. 2003年度大会（東海）日本建築学会学術講演梗概集, 333-336.
- 増田秀昭・遊佐秀逸・川合孝明・大塚健二・上杉三郎. 2003. 木質ハイブリッド構造の耐火性能に関する研究（その2）木製柱を耐火被覆した仕様について. 平成15年度日本火災学会研究発表会概要集, 110-113.
- 大貫寿文・遊佐秀逸・河野守・増田秀昭・大宮喜文・鈴木信之・鈴木淳一. 2002. 角形鋼管柱の載荷加熱試験及び高温引張試験. 2002年度大会（北陸）日本建築学会学術講演梗概集, 33-38.
- 遊佐秀逸・増田秀昭・川合孝明・上杉三郎・並木勝義. 2003. 木質ハイブリッド構造の耐火性能に関する研究（その1）. 平成15年度日本火災学会研究発表会概要集, 106-109.
- 遊佐秀逸・増田秀昭・川合孝明・大貫寿文・上杉三郎・並木勝義. 2003. 木質系構造の耐火性能に関する研究（その1）耐火構造の実験的確認方法. 2003年度大会（東海）日本建築学会学術講演梗概集, 325-328.