様　式　C－１９、F－１９－１、Z－１９　（共通）

科研費 KAKENHI

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

令和　６年　５月３１日現在

機関番号：１４３０１
研究種目：基盤研究(B)（一般）
研究期間：2021～2023
課題番号：２１H０１４９０

研究課題名（和文）燃え止まりメカニズムに基づく木質構造部材の耐火設計

研究課題名（英文）fire resistance design of timber elemens based on self-fire stopping mechanism

研究代表者
原田　和典（Harada, Kazunori）
京都大学・工学研究科・教授
研究者番号：９０１９８９１１

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　9,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究はカラマツ集成材を対象として、火災加熱中の炭化と加熱後の燃え止まりに関与するメカニズムを検討したものであり、その成果は下記のように要約される。
１）加熱終了後の冷却過程において、冷却空気量を増すと表層部の損傷が大きくなることを示した。２）温度測定に基づいて炭化深さを求める方法を検討した。３）亀裂幅、幅深さ比、亀裂間隔といった炭化層の基本的形状をモデル化した。４）炭の酸化による赤熱反応の速度式を考察した。５）炭化層の保持可能厚さに関して、脱落率、脱落幅、脱落深さなどと炭化相厚さとの相関を導いた。６）以上のサブモデルを組み込んだ数値解析モデルを構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義
建築物への木材利用拡大が推進されているが、火災安全上の懸念として耐火性がある。火災時には柱、梁、床、壁等の構造部材が激しく加熱されて表層から内部へと炭化が進行し、火災終了後も自己燃焼が継続すると崩壊の懸念がある。崩壊を防ぐためには、盛期火災の加熱に耐えた上で、その後の自己燃焼を自ら停止する「燃え止まり設計」が必要となる。本研究の成果は、カラマツ集成材の実験と解析を通じて燃え止まりメカニズムに基づいた予測を可能にするものであり、大規模木造建築物の耐火設計を推進するための基盤的知見となる。

研究成果の概要（英文）：This work corresponds with the mechanism of charring of glue laminated larch wood material during fire heating and stopping of glowing combustion during subsequent cooling phase. The research findings are summarized as follows:
1) As the amount of cooling air is increased during cooling period, self-burning of the surface layer is increased. 2) As to the charred depth, correlation with maximum temperature and charring front was investigated and summarized. 3) As to the geometry of crack in charred layer, basic characteristics were summarized including crack width, depth/width ratio and crack interval. 4) Reaction rate equations were derived for glowing combustion of char. 5) As to the possible maximum char layer thickness, ratio of char layer dropping, width and depth of dropping were examined and correlated with charred depth. 6) A numerical simulation model was developed including the above sub-models. Numerical simulation was performed for a GLT wall made of larch.

研究分野：建築火災安全工学

キーワード：木造耐火　燃え止まり　炭化層　赤熱　脱落　数値シミュレーション

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様　式　C－１９、F－１９－１（共通）

１．研究開始当初の背景

木材は再生可能で環境に優しい材料であるため、建築物への利用拡大が推進されている。2018 年に建築基準法が緩和され、法的には木造で建てられる建築物の規模が拡大してきた。しかし、火災安全上の懸念がある。その一つとして耐火性がある。フラッシュオーバー後の盛期火災時には柱、梁、床、壁等の構造部材が激しく加熱されて表層から炭化が進行する。火災終了後も自己燃焼が継続するので、これを放置すれば最終的には建物は崩壊してしまう。高層・超高層建築では避難に長時間を要するので、避難中の建物の崩壊も懸念される。

崩壊を防ぐためには、盛期火災の加熱に耐えた上で、その後の自己燃焼を自ら停止する「燃え止まり設計」が必要となる。現状では、カラマツ等の数種類の樹種では燃え止まりを達成できることが知られているが、なぜ燃え止まるのか、そのために必要な条件は何かについては学術的には明らかにされていない。

燃え止まりのメカニズムを解明するため、炭化層の構造（炭化面先端温度、収縮性状、亀裂形状、保持可能厚さ）や炭の酸化（赤熱）速度を測定し、それに基づいて燃え止まり過程を数値解析モデルにより予測する方法を構築することが求められている。

燃え止まりは表層部が冷却されて炭の燃焼（酸化反応、いわゆる赤熱）が継続できなくなる現象であると予想されるが、炭の燃焼継続条件が明らかでなく、燃え止まりの有無を定量的に論ずることが難しい。燃焼継続には、酸化層の反応速度だけでなく、炭化層内の温度分布、収縮および亀裂部からの酸素供給、厚くなった炭化層の脱落等の物理現象も複合的に関与している。これらを解明した上で、火災中の加熱温度および火災後の冷却温度に応じて燃え止まるかどうかを的確に判定する必要がある。

２．研究の目的

フラッシュオーバー後の盛期火災では、柱、梁等の構造部材と床、壁等の面部材へは強い加熱が加えられる。図１に示すように、火災中は周囲からの強い加熱を受けて材料表面での発炎燃焼が起こると同時に、内部へ向かって炭化が進行する。そのため、荷重支持に有効な断面は時間とともに縮退する。室内の可燃物の燃焼が終了した後も自己燃焼は継続し、炭化はさらに内部へ進行する。その結果、有効断面が小さくなれば構造体は崩壊してしまう。

現状では、カラマツ、ベイマツ等の限定された樹種では、ISO 834 の標準加熱温度曲線に従って加熱した後の燃え止まりが経験的に確かめられているのみで、燃え止まりのメカニズムに基づいた部材設計は行われていない。本研究は、炭化層先端位置、炭の酸化反応速度、炭化層の収縮・亀裂・脱落といった物理的過程を考慮した燃え止まり性状予測を理論的に行なう。これにより、火災に安全な木造建築物を設計するための論拠を与えることができ、大規模建築物への木材利用の障害を解消することに寄与することが目的である。

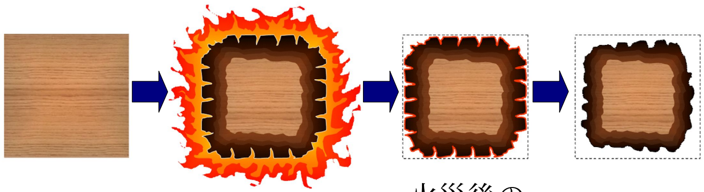


図１　木質構造部材の火災時挙動

３．研究の方法

(1) 燃え止まりに及ぼす冷却速度の影響

火災加熱を受ける木造部材の耐火性については、ISO 834 に準拠した加熱炉を使った標準耐火試験により調べられている。通常の手順では、図 2 に示すように試験体を炉に設置して規定の時間（典型には１時間）の加熱を行った後に、一定量の空気を送り込んで徐々に炉を冷却する。このとき、常温に復帰するまでの間に試験体が燃え止まり、破壊しないことが求められる。しかし、放冷時の給気量については明確な規定が無く、給気量が放冷時の燃焼性状に影響する恐れがある。炉内に新鮮空気を大量に送って換気すれば炉からの排熱を促進し、炉内温度を下げ、結果的に部材温度を速く下げる効果がある。しかし、同時に酸素を送り込むことになるので、木材の自己燃焼を助長して、部材そのものの損傷が進む可能性がある。逆に、給気量が少ないと、自己燃焼は緩慢になるが炉内からの排熱も少ないので、高温状態が長時間維持される。その結果、部材の炭化が進むことになる。以上述べたように給気量と木造部材の損傷との関係は複雑である。

本研究では、小型耐火加熱炉を用いてカラマツ集成材の壁試験体に対して給気量を変えて行った 8 回の実験結果をもとに、給気量と燃焼速度の包括的な関係を考察した。

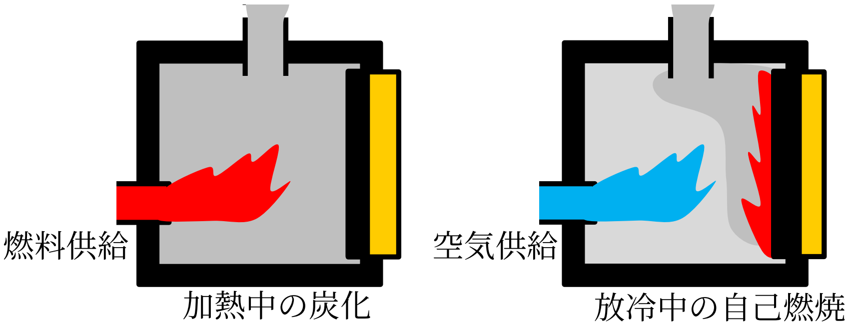


図２　耐火試験時の燃焼性状

(2) 炭化層先端位置の定式化
荷重支持能力の算定では、火災加熱後の炭化面先端位置を特定し、残存した断面で構造積載荷重を保持できるかどうかが検討される。実験においては、部材を切断して目視等により炭化面の位置を特定している。これを数値解析に置き換える時には、火災加熱を通じた温度履歴と炭化の有無を調べておく必要がある。いわゆる炭化温度であり、260℃くらいと推定されるが、実際的な火災加熱を受ける部材の炭化温度は正確には判っていない。そのため、コーンカロリメータ試験を行って、木材サンプルに温度履歴を与えた後に切断し、炭化深さと温度履歴との関係を整理した。

(3) 炭の酸化速度の測定と定式化
炭の酸化による赤熱反応速度は、燃え止まりの有無を左右する直接的な特性値である。これまで、一部の加熱強度においてカラマツの炭の炭化速度をコーンカロリメータで測定して清浄な空気中での反応速度式を提案してきたが、酸素濃度を制御した実験も追加して行い結果を一般化する。

(4) 炭化層形状のモデル化
(4-1) 亀裂形状
木材が炭化すると体積減少に伴う亀裂が生じ、いわゆる「アリゲーターパターン」が表面に発生する。このときの亀裂幅、亀裂深さおよび亀裂間隔は、炭化層内における熱伝達と酸素拡散の速度に影響を及ぼし、炭の酸化反応を支配する重要な因子である。これを考慮するため、炭化後の亀裂形状を非接触変位計で測定し、亀裂幅（C_w）と亀裂深さ（C_d）および亀裂間隔（L_w）を求める。
(4-2) 収縮係数
炭化層の収縮量は、表面の収縮率（１－炭化後の寸法／初期寸法）で表すことができ、収縮率と残量比（炭化後の密度／初期密度）の関係は収縮係数を通じて残量比と直接的に関連づけられる。残量比と収縮量の関係を小片の高温加熱実験により測定してモデル化する。

(5) 炭化層の保持可能厚さ
炭化層が厚くなるとその断熱効果により内部の健全部分への熱伝導が抑制されるので、劣化が抑制される。この意味で炭化層が厚く保持できる樹種は耐火性に優れていると予想される。しかし、炭化層が厚くなると、自重等により脱落する恐れがある。そのため、炭化層を保持できる限界の厚さを測定する。耐火試験炉において平板状の試験体を加熱して表面に炭化層を形成し、その後も加熱を続けて炭化層を厚く成長させる。各種時間まで加熱した後に炭化層の表面形状を測定して脱落量を特定し、そのときの炭化層厚さ（正味の炭化深さ）との関連を調べる。

(6) 燃え止まり予測解析
数値解析による燃え止まり予測に関しては、二次元熱伝導解析プログラムに揮発性成分の熱分解反応（木材→可燃ガス＋炭）と炭の酸化反応（炭＋酸素→二酸化炭素）を組み込んだプログラムを作成して火災時の挙動を予測する。モデルは、材料内の熱伝導方程式において、材料内の含水の蒸発熱、木材が炭化するときの熱分解潜熱、炭が酸化（赤熱）して焼失するときの燃焼熱を考慮したものである。木材が炭化すると収縮して亀裂が生じ、そこから熱と酸素が侵入することも併せて考慮する。熱分解速度および赤熱反応速度は熱重量分析およびコーンカロリメータ等で測定して導いた速度式で表す。
予備的な解析では、木材の炭化と収縮、亀裂の発生と進展の過程が定性的には再現されたことが確かめられているが、実用化のためには、メカニズムの検証と実験との定量的な比較が必要である。そのため、本研究では実験との比較により、燃え止まり予測解析の精度を高めることを目指した。

４．研究成果
(1) 燃え止まりに及ぼす冷却速度の影響

厚さ 100㎜ のカラマツ集成材壁を試験体として加熱試験を行った。加熱温度は ISO 834 標準加熱温度曲線

$$T_f = 345\log_{10}(8t+1) + 20 \quad (1)$$

とした。ただし、T_fは炉内温度[℃]、t は時間[分]である。その後は、燃料ガスの供給を停止して、ある一定の割合で常温の空気を供給して 180 分間放冷した。給気量を変えて全部で８回の実験を行い、焼失深さ、炭化深さ、変色深さを測定した結果を図 3 に示す。給気量が少ないほど炭化深さや変色面深さが深くなる傾向が見られた。その一方で、給気量が多いほど、表面の損傷（焼失深さ）が大きくなる傾向がみられた。

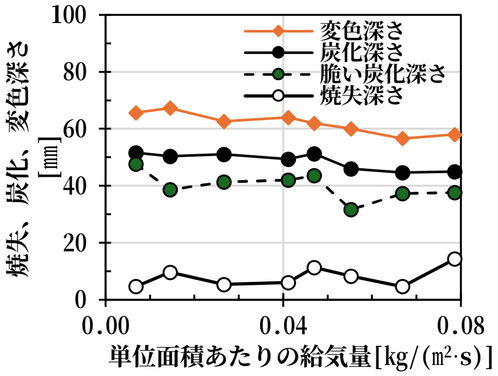


図 3　焼失、炭化、変色深さと給気量の関係

(2) 炭化層先端位置の定式化

カラマツ集成材をコーンカロリメータで加熱して炭化させる実験を行い、炭化深さと温度履歴の関係を整理し、炭化温度（炭化深さ位置での最高履歴温度）および変色温度（変色開始位置での最高履歴温度）を求めた。試験体は厚さ 50㎜ のカラマツ集成材である。試験体のラミナ厚は 26㎜ であった。密度は、板目材で 565、柾目材で 531kg/㎥、含水率は板目材で 11.5、柾目材で 10.7%-wt.であった。温度測定のため、加熱面から深さ 10㎜ ごとに K 熱電対(直径 0.65㎜)を挿入した。

加熱・冷却後に試験体を切断して炭化深さを測定し、炭化深さおよび変色深さにおける最高履歴温度を温度測定値から求めたところ、板目加熱では炭化温度は 381℃、変色温度は 254℃となった。柾目加熱の場合には、炭化温度は板目加熱と同じく 381℃、変色温度は僅かに高く 263℃となった。通常の解析および実験データ整理では、288℃もしくは 260℃を炭化温度と仮定して炭化面位置を推定することがしばしば行われているが、炭化温度はこれよりもかなり高いことを明らかにした。

(3)炭の酸化速度の測定と定式化

炭化層の赤熱反応は、燃え止まりに大きな影響を与える要素の１つである。本研究では、試験体の厚さを 10㎜ とした時の赤熱反応速度を測定した。測定には、大型熱重量分析装置を使用した。任意の混合ガスを任意の温度に加熱し、任意の流量で測定チャンバー内に送り込みながら、試験体の質量減少を測定できる装置である。試験体は、400℃の窒素ガスで加熱し、試験体を十分に炭化させた後、酸素濃度 10%の混合ガスに切り替えて、赤熱反応を開始させた。関連研究で行ったデータと併せて比較したところ、試験体が厚いほど、酸素濃度が低くなっても残量比減少速度は低減されない結果となった。また、15㎜ 以上の厚みの試験体からは同等の値が得られると考えられた。

(4) 炭化層形状のモデル化

(4-1) 表面亀裂寸法

コーンカロリメータで放射加熱されたカラマツ集成材表面で生じる亀裂の寸法を測定し、加熱条件(加熱強度、加熱面種類、加熱時間)が亀裂寸法へ及ぼす影響を検討した。測定で得られた亀裂深さと亀裂幅の関係より、加熱強度、加熱面の種類（柾目または板目）、加熱時間でデータを分類した。15～50kW/㎡の加熱強度で加熱された試験体の表面で生じる亀裂の深さ/幅比は 2.99～4.83 であった。各強度で加熱された試験体の亀裂深さ/幅比には顕著な違いがみられ、強い加熱強度(30、50kW/㎡)で加熱された試験体は弱い加熱強度(20、15kW/㎡)で加熱された試験体の亀裂深さ/幅比より大きかった。ただし、加熱強度が 50kW/㎡ での亀裂深さ/幅比は 30kW/㎡ のものより小さかった。また、亀裂間隔は加熱強度に依らず 15～25㎜ であった。

(4-2) 残量比と収縮率の関係

カラマツの低残量比域における質量変化と寸法変化の関係を明確にするため、高温域での残量比と収縮寸法の関係を測定した。半径方向、接線方向、軸方向ともに、収縮率（減少した寸法／元の寸法）は転化率（減少した質量／初期質量）の二次関数で表すことができ、その係数（収縮係数）は、半径方向と接線方向はほぼ等しく、軸方向はそれらの約 1/3 であった。

(5) 炭化層の保持可能厚さ

ISO 834 に基づき、カラマツ集成材壁の耐火試験を行い、加熱時間が長くなるに従って炭化層の脱落がどのように進むのかを調べた。加熱時間は 100㎜ 厚の壁を用いた場合は 30 および 45 分、150㎜ 厚の壁を用いた場合は 60、75、90 および 120 分とした。加熱・放冷後に試験体を取り出して、炭化層の表面形状を非接触レーザー変位計により測定した。最後に、試験体を中央で切断し、切断面の観察により炭化深さおよび変色深さを調べた。

例として、120 分加熱＋180 分放冷の測定結果を図 4 に示す。左図は、試験体中央で縦方向に測定した炭化層形状である。内部の色塗りは、切断して断面を観察して測定した炭化深さと変色

深さである。左図より、表層から約 30㎜ は、完全に焼失している。炭化層の表面形状を見ると、多数の深い亀裂が観測されている。それとは別に、炭化層から大きな部分が失われているのは脱落のためである。

全ての実験データから脱落割合を整理した結果を図 5 に示す。実験データの範囲では、脱落割合 $f_{fallout}$[-]と炭化層厚さ[㎜]は比例した。十分なデータは無いが、加熱時間が短く炭化層が薄い場合には脱落が起こらないことと、炭化層厚さが 65㎜ 以上では脱落割合が急増する予兆が見られることから、図 5 に破線で示したような関係になると予想される。

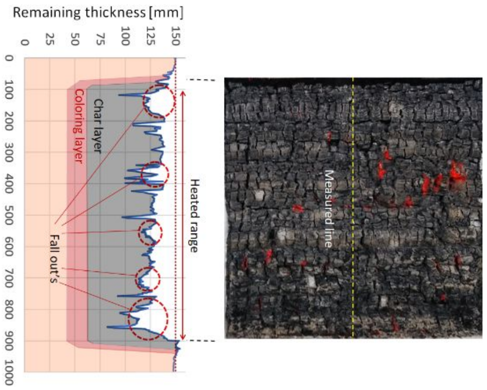


図 4　測定された断面形状の例（120 分加熱＋180 分放冷）

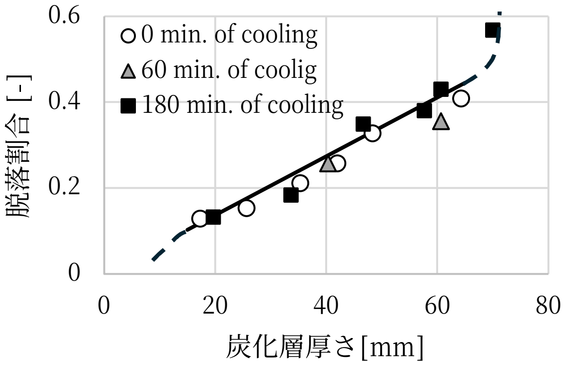


図 5　脱落割合と炭化層厚さとの相関

(6) 燃え止まり予測解析

数値計算による部材温度履歴と燃え止まり性状予測方法を提案し、今後の課題を整理した。

(6-1) 解析モデルの概要

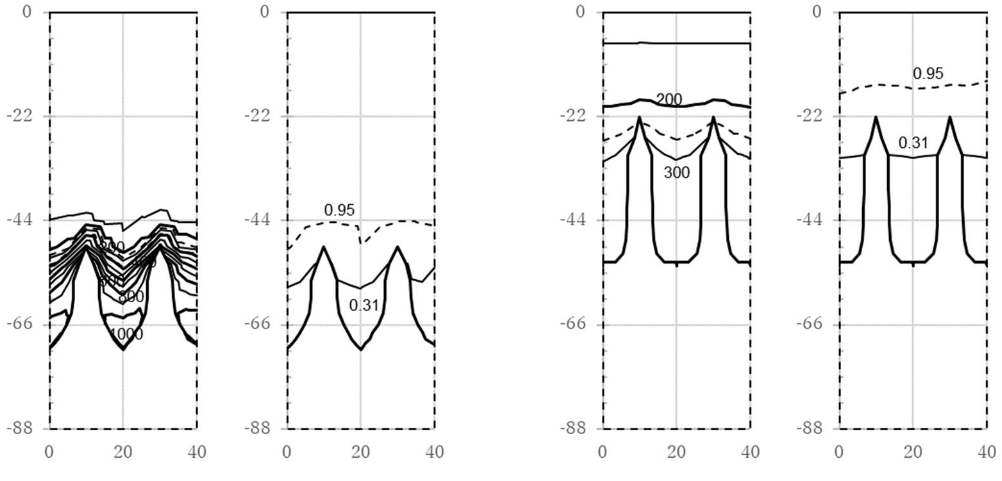
解析に用いるプログラムは、柱、梁などの部材断面内の二次元温度分布を計算するものである。木材等の可燃性材料の熱伝導は複雑であるが、実用性を考慮して物理・化学現象を簡略化し、部材断面内の温度分布は二次元非定常熱伝導方程式で表した。

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda_x \frac{\partial T}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\lambda_y \frac{\partial T}{\partial y}\right) - Q_{evap} - Q_{decomp} + Q_{glow} \tag{2}$$

ただし、T：温度[℃]、λ：材料の密度[kg/m³]、c：材料の比熱[J/(kg･K)]、λ_x：材料の熱伝導率（x 軸方向）[W/m.K]、λ_y：材料の熱伝導率（y 軸方向）[W/m.K]、Q_{evap}：含水の蒸発による熱吸収速度[W/m³]、Q_{decomp}：揮発性成分の熱分解による熱吸収速度[W/m³]、Q_{glow}：赤熱（炭の酸化）による熱生成速度[W/m³]である。

(6-2)計算例

厚さ 88㎜ のカラマツ壁に 60 分間の ISO　834 加熱を行った場合を想定して解析を行った。解析結果のうち、60 分と 240 分の温度分布および残量比分布を図 6 に示す。温度分布、残量比分布ともに２本の亀裂線に沿って亀裂が成長し、熱侵入により亀裂付近の温度が上昇し、残量比が減少していく状況が再現されている。



60 分時（加熱終了時）の温度と残量比　　240 分時（放冷後）の温度と残量比

図 6　解析結果

５．主な発表論文等

〔雑誌論文〕　計2件（うち査読付論文　2件／うち国際共著　0件／うちオープンアクセス　0件）

１．著者名 Harada Kazunori, Sun Anyang, Makino Shoma, Nii Daisaku	４．巻 -
２．論文標題 Burning Behaviour of GLT Walls During Cooling Period after ISO 834 Exposure in a Small Furnace	５．発行年 2023年
３．雑誌名 Fire Technology	６．最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10694-023-01483-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 －

１．著者名 Sun Anyang, Harada Kazunori, Nii Daisaku	４．巻 -
２．論文標題 Experimental Research on Moisture Transfer, Burning and Charring Behavior of Glue Laminated Larch Under Fire Heating Using Cone Calorimeter	５．発行年 2024年
３．雑誌名 Fire Technology	６．最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10694-024-01545-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 －

〔学会発表〕　計26件（うち招待講演　2件／うち国際学会　4件）

１．発表者名 Kazunori Harada, Anyang Sun, Shoma Makino, Daisaku Nii
２．発表標題 Burning Behaviour of GLT Walls during Cooling Period after ISO 834 Exposure in a Small Furnace
３．学会等名 The 12th International Conference on Structures in Fire（国際学会）
４．発表年 2022年

１．発表者名 Anyang Sun, Kazunori Harada, Daisaku Nii
２．発表標題 Experimental Research about Moisture Transfer, Burning Behaviour and Charring Behaviour of Glue Laminated Larch under Fire Heating Using Cone Calorimeter
３．学会等名 The 12th International Conference on Structures in Fire（国際学会）
４．発表年 2022年

１．発表者名 原田和典
２．発表標題 数値計算プログラムを活用した耐火性能評価手法
３．学会等名 2023年度日本建築学会（近畿）防火部門パネルディスカッション（招待講演）
４．発表年 2023年

１．発表者名 孫安陽、原田和典、仁井大策、黒田瑛一、茶谷友希子
２．発表標題 カラマツの高温加熱による質量と寸法変化関係の定式化
３．学会等名 日本建築学会大会（東海）学術講演梗概集
４．発表年 2021年

１．発表者名 孫安陽、仁井大策、原田和典
２．発表標題 放射加熱を受ける木質部材内部の熱物質移動の実験的検討
３．学会等名 2022年度日本火災学会研究発表会概要集
４．発表年 2022年

１．発表者名 牧野翔馬、孫安陽、仁井大策、原田和典
２．発表標題 耐火試験における放冷時の炉内温度解析方法
３．学会等名 2022年度日本火災学会研究発表会
４．発表年 2022年

１．発表者名 原田和典、牧野翔馬、孫安陽、仁井大策
２．発表標題 火災加熱を受ける木質部材の燃焼速度と給気量の関係に関する研究　その１　実験方法および結果の概要
３．学会等名 日本建築学会近畿支部研究報告集
４．発表年 2022年

１．発表者名 孫安陽、牧野翔馬、原田和典、仁井大策
２．発表標題 火災加熱を受ける木質部材の燃焼速度と給気量の関係に関する研究　その２　実験結果
３．学会等名 日本建築学会近畿支部研究報告集
４．発表年 2022年

１．発表者名 牧野翔馬、孫安陽、原田和典、仁井大策
２．発表標題 火災加熱を受ける木質部材の燃焼速度と給気量の関係に関する研究　その３　炉内熱収支の解析結果
３．学会等名 日本建築学会近畿支部研究報告集
４．発表年 2022年

１．発表者名 原田和典、孫安陽、牧野翔馬、仁井大策
２．発表標題 燃え止まりに関する給気量の影響
３．学会等名 安全工学シンポジウム2022（招待講演）
４．発表年 2022年

１．発表者名
原田和典、孫安陽、仁井大策

２．発表標題
カラマツ集成材の炭化深さと温度履歴の関係に関する考察

３．学会等名
日本建築学会大会（北海道）

４．発表年
2022年

１．発表者名
孫安陽、牧野翔馬、原田和典、仁井大策

２．発表標題
高温加熱を受けるカラマツ集成材の放冷時の発熱速度と給気量の関係に関する研究

３．学会等名
日本建築学会大会（北海道）

４．発表年
2022年

１．発表者名
牧野翔馬、孫安陽、原田和典、仁井大策

２．発表標題
木造部材の耐火試験における放冷時の給気量の影響に関する数値解析

３．学会等名
日本建築学会大会（北海道）

４．発表年
2022年

１．発表者名
牧野翔馬、孫安陽、原田和典、仁井大策

２．発表標題
木造部材の耐火試験における放冷時の給気量の影響に関する数値解析

３．学会等名
日本建築学会大会（北海道）学術講演会

４．発表年
2022年

１．発表者名
原田和典、孫安陽、牧野翔馬、仁井大策

２．発表標題
各種時間でIS0834加熱・放冷される木質壁の燃焼および炭化層の脱落性状に関する実験（その1 実験概要）

３．学会等名
日本火災学会研究発表会

４．発表年
2023年

１．発表者名
孫安陽、牧野翔馬、原田和典、仁井大策

２．発表標題
各種時間でIS0834加熱・放冷される木質壁の燃焼および炭化層の脱落性状に関する実験 その2 温度・含水率の実験結果

３．学会等名
日本火災学会研究発表会

４．発表年
2023年

１．発表者名
牧野翔馬、孫安陽、原田和典、仁井大策

２．発表標題
各種時間でIS0834加熱・放冷される木質壁の燃焼および炭化層の脱落性状に関する実験 その3 炭化層形状の測定結果

３．学会等名
日本火災学会研究発表会

４．発表年
2023年

１．発表者名
牧野翔馬、孫安陽、原田和典、仁井大策

２．発表標題
耐火試験における木質壁の炭化層の収縮・亀裂を考慮した熱伝導計算に関する研究

３．学会等名
日本建築学会近畿支部研究発表会

４．発表年
2023年

１．発表者名 牧野翔馬、孫安陽、原田和典、仁井大策
２．発表標題 耐火試験における木質壁の収縮・亀裂を考慮した計算モデルを用いた熱伝導解析
３．学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集（近畿）
４．発表年 2023年

１．発表者名 Shoma Makino, Anyang Sun, Kazunori Harada, Daisaku Nii
２．発表標題 Fallout of char layer of glue laminated timber walls heated by ISO 834 standard fire and subsequent cooling down
３．学会等名 14th international Symposium on Fire Safety Science（国際学会）
４．発表年 2023年

１．発表者名 原田和典、孫安陽、牧野翔馬、仁井大策
２．発表標題 各種時間でISO834加熱・放冷される木質壁の燃焼および炭化層の脱落性状に関する実験 その4 実験方法
３．学会等名 日本火災学会研究発表会
４．発表年 2024年

１．発表者名 孫安陽、牧野翔馬、原田和典、仁井大策
２．発表標題 各種時間でISO834加熱・放冷される木質壁の燃焼および炭化層の脱落性状に関する実験 その5 温度・含水率の測定結果
３．学会等名 日本火災学会研究発表会
４．発表年 2024年

１．発表者名 牧野翔馬、孫安陽、原田和典、仁井大策
２．発表標題 各種時間でISO834加熱・放冷される木質壁の燃焼および炭化層の脱落性状に関する実験 その6 炭化層形状の測定結果
３．学会等名 日本火災学会研究発表会
４．発表年 2024年

１．発表者名 Shoma Makino, Anyang Sun, Kazunori Harada, Daisaku Nii
２．発表標題 An Empirical Model of Fallout of Char Layer of Glue Laminated Timber Walls Heated By ISO 834 Standard Fire For Various Duration
３．学会等名 The 13th International Conference on Structures in Fire（国際学会）
４．発表年 2024年

１．発表者名 原田和典、牧野翔馬、孫安陽、仁井大策
２．発表標題 等価火災時間算定式のカラマツ集成材壁への適用可能性に関する考察
３．学会等名 日本建築学会大会（関東）
４．発表年 2024年

１．発表者名 牧野翔馬、孫安陽、原田和典、仁井大策
２．発表標題 カラマツ壁試験体の燃焼による収縮・亀裂・脱落を考慮した炭化予測モデルに関する研究
３．学会等名 日本建築学会大会（関東）
４．発表年 2024年

〔図書〕　計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

京都大学工学研究科建築学専攻都市空間工学講座ホームページ 研究紹介
http://www.sbee.archi.kyoto-u.ac.jp/research.html
木造部材の燃え止まり設計
http://www.sbee.archi.kyoto-u.ac.jp/img/file23.pdf

6．研究組織

	氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
研究分担者	仁井　大策 (Nii Daisaku) (50414967)	京都大学・工学研究科・准教授 (14301)	

7．科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕　計0件

8．本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関