

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 6 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H03020

研究課題名（和文）実際のライン上での準不燃合板の製造と安価な燃え止まり型木質耐火部材・接合部の開発

研究課題名（英文）Manufacturing of quasi-noncombustible plywood on the real line and developing of price competitive self-charring stop type fire resistant wooden materials and joints using this plywood

研究代表者

中村 昇（NAKAMURA, NOBORU）

岡山大学・環境生命科学学域・特任教授

研究者番号：30180384

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,500,000円

研究成果の概要（和文）：木造は構造自体が可燃物であるため、建物内の可燃物が燃え尽きた後も自消することなく、不燃薬剤を注入した材との複合などが行われてきたが、燃えないため建物の解体時に埋立処理しかできない。カラマツやベイマツ集成材を用いた1時間耐火試験で自消した報告があるが、スギ集成材では自消した報告はない。炭素系物質や炭の酸化に対しては、灰分が触媒として働き、活性化エネルギーを低下させ、酸化反応を促進する。つまり、灰分量の少ない材を使えば、木材のみで自消する可能性がある。そこで、灰分量の少ないヒノキ集成材を用いた1時間耐火試験では自消し、ベイマツ集成材3体についての2時間耐火試験では1体がほぼ自消していた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

木質資源の利活用による森林の持続的経営は、地球温暖化防止の脱炭素の切り札である。建築分野での木材利用は住宅が中心であったが、欧州や北米など世界的に中大規模建築への利用が盛んに行われるようになってきている。わが国も例外ではないが、最大のハードルが火災である。不燃薬剤を注入した木材などを用いて耐火部材を開発してきたが、それではカスケード利用不可能で、木材が環境に優しいとは言えない。まさに本末転倒である。木材のみで自消できることが望ましく、その糸口が灰分である。さらに、木材中の灰分量を非破壊的に測定できる手法も見出している。また、辺材部から心材部への灰分の移動メカニズムの解明は、樹木学的に重要である。

研究成果の概要（英文）：Since wooden structures themselves are combustible, they will not be extinguished even after the combustibles in the building are burned out. This is why wooden fireproof members combined with materials injected with non-combustible chemicals have been developed. But when the building is demolished, these members will be only landfilled because they can't burn. There are reports of self-extinguishing in 1-hour fire resistance tests using larch and Douglas-fir glulam, but no reports of self-extinguishing in Sugi glulam. Wood contains ash and it acts as a catalyst for the oxidation of wood and charcoal, reducing the activation energy and promoting the oxidation reaction. In other words, combustion might be extinguished for wood with a small amount of ash. For 1-hour fire resistance test using hinoki glulam with a low ash content, the combustion was self-extinguished. And for 2-hour fire resistance test using Douglas-fir glulam, the combustion was almost self-extinguishing.

研究分野：木質材料学

キーワード：燃え止まり 耐火部材 灰分 活性化エネルギー 炭

### 1. 研究開始当初の背景

日本における木材の最大の需要先は、新設住宅である。しかし、購買意欲の高い生産年齢人口は既に1995年をピークに減少に転じており、野村総研による新設住宅着工戸数の予測では、2030年には現在の約2/3の60万戸に減少するとされている。需要が減少する局面で、増やす素材を何に使うのか？今話題のセルロースナノファイバーを見れば明らかなように、今からこれまでにない新しい木質系材料を開発しても、社会実装には10年以上の歳月を要することを考えれば、やはり従来の木質材料の用途拡大を図るしかない。そうすると木造が希少な非住宅の建築分野、中でも、ターゲットは都市部の建築市場規模が大きい、高さが30mまで、階数で言えば4~7階くらまでの建築物であり、2時間耐火構造が主体となる。しかし、この分野は、広い空間が可能で、安価な鉄骨造の需要が多く、コスト的に競合することが難しい状況にある。鉄骨造に比肩する木材の価格は1m<sup>3</sup>当たり20万円と算定される。木造の場合、重量が軽いため基礎構造を簡易にでき、仕上げをそのまま現しにする事で親和的空間を実現できることなどのメリットもあるため、同程度の価格の燃え止まり型部材が開発できれば、鉄骨造と価格競争できる。

そこで、実際のラインで製造したスギ準不燃合板を、図1に示すように集成材のラミナサイズに割り、これを用いて集成材をつくり、燃え止まり層とする。こうすることで、20万円/m<sup>3</sup>の耐火部材を製造することができる。

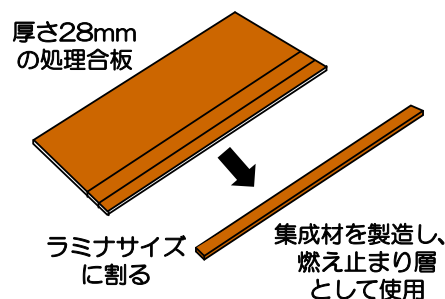


図1 燃え止まり層の製造

### 2. 研究の目的

本研究は、価格競争力のある燃え止まり型木質系部材を開発し、大臣認定を取得することにより、社会実装することを最終的な目的とする。ちなみに、価格が明示されていないが、これまで最も実績のある燃え止まり型木質系部材の価格は、当初90万円/m<sup>3</sup>と言われているがそれでも需要を伸ばしつつある。ではどうやって20万/m<sup>3</sup>の耐火部材をつくるのか？本研究では、スギ単板を用いる。その理由は次のようである。難燃薬剤を木材に注入するには、専用の釜に入れて減圧・加圧をする必要がある。それでも、内部までは浸透しにくく、例えば平均で薬剤固形分150kg/m<sup>3</sup>入れたとしても、表層に近い箇所では500kg/m<sup>3</sup>にもなり、中心部では50kg/m<sup>3</sup>となってしまう。したがって、切削して表層を削ってしまうと、薬剤の効果はなくなってしまう。一方、単板に薬剤を浸透させることができ、それらを積層して合板をつくれれば、薬剤が内部まで十分浸透しており、切削しても性能が失われることはない。このようにして実際のラインで製造したスギ準不燃合板を図1に示す方法で集成材にし、燃え止まり層として用いることで安価な2時間耐火部材の開発を目指す。

### 3. 研究の方法

1)図2に示す方法で、上述した薬剤注入合板を実際の合板製造ラインで製造できるシステムを構築するため

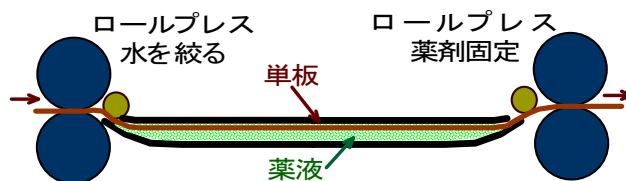


図2 単板への薬剤含漬方法

の装置を試作する。乾燥単板を用いると、薬液が浸透後に再度乾燥する必要があり、コストが嵩むこと、また、単板が濡れていないと薬液は浸透し難いので、生単板を用いる。

2) 1)で薬剤を注入した単板を用いて合板を製造する。製造した合板に対し、コーンカロリメータ(CCM)を用いて準不燃の燃焼試験を行い、総発熱量が  $8\text{MJ/m}^2$  以下であることを確認する。これまでに、単板に固形分量として  $100\text{kg/m}^3$  注入すれば、準不燃合板となることが分かっている。

3) 図1に示すように、準不燃合板をラミナに割り、集成材を製造する。このときの製造コストを精査する。

4) 製造した集成材を燃え止まり層とした、燃え止まり型木質系 2 時間耐火部材を製造する。試験体は図3示すように、梁と柱である。木材の炭化速度  $0.7\text{mm/分}$  とすると 2 時間の加熱で約  $80\text{mm}$  の炭化層となるので、燃え代層は  $80\text{mm}$  と想定する。炭化層は断熱層となり荷重支持部材への熱伝導を抑える。

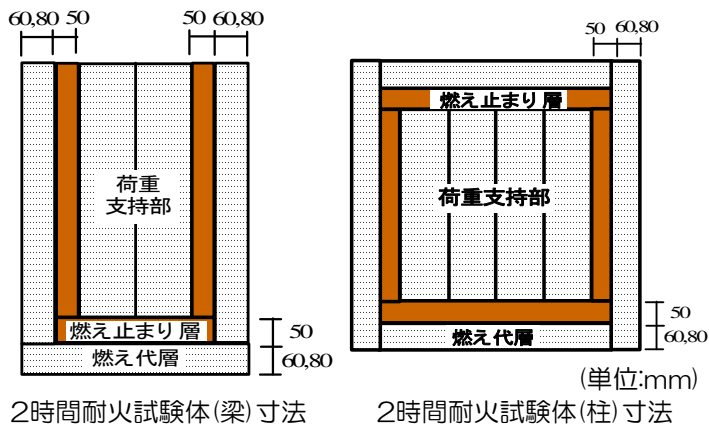


図3 燃え止まり型木質系耐火部材

5) 梁と柱の試験体に対し、耐火炉で無載荷の 2 時間耐火試験を行う。また、燃え代層および燃え止まり層の炭の反応速度から、燃え止まりのメカニズムを解明する。

## 4. 研究成果

### 4.1 準不燃合板の製造

厚さ  $12\text{mm}(2.60\text{mm}\times 5)$  および  $15\text{mm}(2.60\text{mm} + 3.70)\text{mm}\times 3 + 2.60\text{mm}$  の合板を作成するために、 $2.60\text{mm}$  厚および  $3.70\text{mm}$  厚の単板を W-200 にドブ漬けた。その後、圧縮率 40% でロールプレスを行った。乾燥を 2 回行った後の重量を測定した。各ステージでの重量変化を表 1 に示した。101~120 までが厚さ  $2.60\text{mm}$  の単板、201~210 までが厚さ  $3.70\text{mm}$  の単板の結果である。固形分の濃度が 50% であることを考えると、バラツキはあるが約  $100\text{kg/m}^3$  固形分を固定していることが分かる。作成した合板を写真 1 に示した。



写真1 作成した合板(厚さ 12mm)

作成した合板を用いてコーンカロリメータ(CCM)試験を行った。ノンネン W-200 を用いた厚さ約  $19\text{mm}$  の合板では、総発熱量が  $5.04\text{MJ/m}^2$ 、 $1.94\text{MJ/m}^2$  であり、基準値である  $8\text{MJ/m}^2$  を下回っていることが分っている。需要を考えると、ターゲットとなるのは厚さ  $12\text{mm}$  あるいは  $15\text{mm}$  の合板なので、これらの合板を作成し、CCM 試験を行っ

た。厚さ 12mm の合板は、単板 2.6mm×5 層であり、厚さ 15mm の合板は、2.6mm + 3.7mm×3 + 2.6mm である。4 日間ドブ漬けを行った後、圧縮率 30%～40% でロールプレスを通し、乾燥機を 2 回通した後、冷圧してから熱圧を行い、合板を各 2 枚 A および B を製造した。製造した合板から CCM 試験用の 100mm×100mm の試験体を採取し、CCM 試験を行った。結果を表 2 に示した。

表 2 を見ると、着火していない試験体はすべて 8MJ/m<sup>2</sup> を下回っている。着火している試験体で 8MJ/m<sup>2</sup> を下回っているものは、着火しても火炎が比較的すぐに消火している。これより、厚さ 12mm および 15mm でも、準不燃材料として認定を取得できる

可能性があることが分かる。厚さ 15mm の合板は、すべて加熱裏面は炭化していないが、厚さ 12mm の合板は総発熱量の小さい試験体 12B-4 以外はほぼ炭化してしまっていることが分かる。

表 1 ロールプレスを用いた単板の重量変化

番号	乾燥重量	ドブ浸後ロールプレス	乾燥後
101	1.672	2.851	2.017
102	1.478	4.748	2.652
103	1.375	2.823	-
104	1.674	2.953	-
105	1.476	3.078	1.975
106	1.648	2.947	2.094
107	1.374	2.937	-
108	1.415	2.223	1.993
109	1.486	3.101	-
110	1.436	3.752	-
111	1.357	2.959	1.923
112	1.700	3.183	2.080
113	1.448	3.304	2.139
114	1.300	3.892	-
115	1.690	3.135	2.146
116	1.447	3.138	1.996
117	1.561	3.418	-
118	1.862	3.271	2.960
119	1.458	3.156	1.958
120	1.323	3.578	2.170
201	2.530	6.935	-
202	3.032	5.023	-
203	2.166	6.986	3.842
204	3.125	5.588	4.086
205	2.703	7.558	4.507
206	2.970	5.282	3.720
207	2.468	7.602	4.506
208	3.328	5.417	3.945
209	2.744	5.412	3.581
210	2.191	7.409	3.920

表 2 CCM 試験結果

試験体	総発熱量(MJ/m <sup>2</sup> )	最大発熱速度(kW/m <sup>2</sup> )	着火の有無
15A-3	10.96	46.00	有
15B-5	1.67	4.66	無
15A-5	4.04	24.31	有
15B-4	3.71	35.32	有
15A(2)-2	1.32	8.70	無
12A-4	10.79	65.42	有
12B-4	1.35	4.19	無
12A-端部	10.42	39.28	有
12A-端部(2)	2.60	15.57	有

#### 4.2 準不燃合板を用いた耐火部材の 1 時間耐火試験結果

図 4 に試験体の断面を、図 5 に長さ方向の熱電対設置位置を、図 6 には各断面における熱電対番号を示した。また、例として、長さ方向中央 C 断面における熱電対の温度推移を

図7に示した。他の熱電対の温度もすべて下がっており、燃え止まったと判断できるので脱炉した。そのときの様子を写真2に示した。これより、目的は達成できたと考えられる。



写真2 脱炉時の試験体

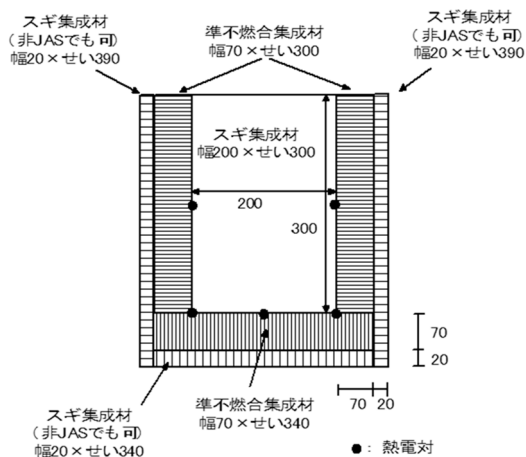


図4 断面と熱電対設置位置

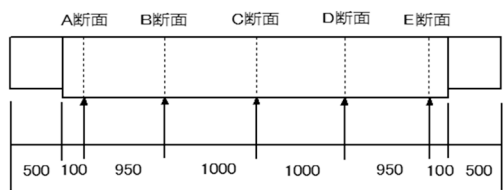


図5 長さ方向の熱電対設置位置

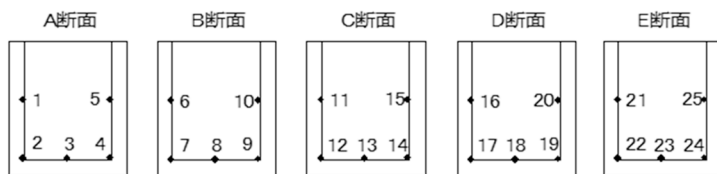


図6 各断面における熱電対番号

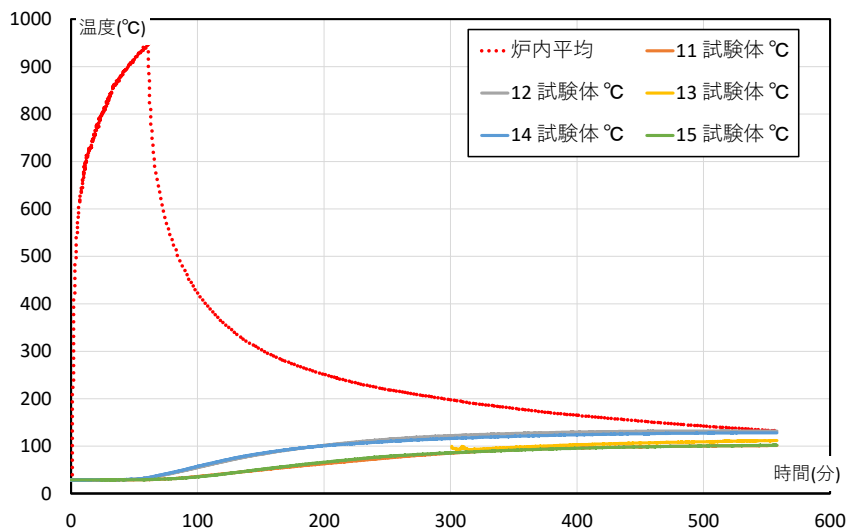


図7 C断面における熱電対の温度推移

#### 4.3 まとめ

安価な燃え止まり型木質耐火部材の開発を目指し、実際のラインで製造可能な準不燃合板を製造し、それを燃え止まり層とした耐火部材を開発した。当初2時間耐火としたが、1時間耐火試験をクリアした。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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	板垣 直行  (Itagaki Naoyuki)  (00271891)	秋田県立大学・システム科学技術学部・教授   (21401)	
研究分担者	栗本 康司  (Kurimoto Yasuji)  (60279510)	秋田県立大学・木材高度加工研究所・教授   (21401)	

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