

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 12 日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2010～2013

課題番号：22248019

研究課題名(和文) レーザインサイジングによるスギ耐火集成材および耐火面材の開発に関する基礎的研究

研究課題名(英文) Basic research of laser incising to develop fire resistive glulam and cross laminated timber made of Japanese cedar

研究代表者

服部 順昭 (Hattori, Nobuaki)

東京農工大学・(連合)農学研究科(研究院)・教授

研究者番号：90115915

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 37,600,000円、(間接経費) 11,280,000円

研究成果の概要(和文)：スラブCO₂レーザーでスギのラミナに直径2 mm以下の貫通孔が出力1 kW、パルス幅0.1秒であけられたこと、孔からの難燃薬剤浸透性能に応じたパターンでレーザーインサイジングを行ったスギラミナには薬剤がむら無く注入できたこと、荷重支持部のスギ無処理集成材を難燃薬剤を所定量注入した燃え止まり部となるスギラミナで覆い、表面を無処理のスギラミナで覆った集成材が耐火1時間の加熱試験に合格し、別途国土交通大臣から建築基準法上の認定を受けたこと、同じ構成のスギCLTでも耐火1時間の性能が確認できたこと、その耐火集成材が都内の防火地域に建設の木造3階建て飲食店舗に採用されたことが期間内に得た成果である。

研究成果の概要(英文)：The results are follows; a pinhole whose diameter is less than 2 mm could be made in lamina of Japanese cedar by the slab CO₂ laser with the 1 kW power and 0.1 sec pulse duration. The fire retardant could be impregnated evenly with less variation to Sugi lamina through pinholes by laser. The glulam consists of three zones such as load-bearing part (untreated glulam), fire-dieout part impregnated fire-retardant chemicals and surface part (untreated lamina) could pass the one-hour fireproof performance test and got the certificate by the government. The first building whose main column and beam were consisted of the one-hour fire proof glulam was completed in fire protection district of downtown Tokyo in May 2013.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：森林圏科学・木質科学

キーワード：CO₂レーザー インサイジング スギ ポリリン酸 耐火集成材 耐火CLT 耐火木造建築物 防火地域

1. 研究開始当初の背景

建築基準法第 61 条他により、防火地域や準防火地域には、小規模建築物を除き、耐火建築物しか建てられない。集成材で被覆した鉄骨や高密度材でくるんだ集成材、45 mm の石膏ボードで被覆した壁に耐火認定が出されているが、純木造とは言えない。

鉄骨や石膏ボードなどを使わずに、スギだけで構成される集成材に 2 時間耐火性能を持たせるために、高性能の難燃処理層の研究・開発が不可欠である。

これまでのレーザーサイジングで多くの失敗を経て、1 時間耐火の国土交通大臣の認定を得たが、現状では、設計変更しても、これ以上の性能を得ることは無理である。

2. 研究の目的

本研究は、建築物の柱、梁、外壁、防火扉に使える耐火 2 時間の集成材製造技術の基礎を開発するものである。この意義は、鳩山内閣が温室効果ガスの削減目標をそれまでの 6 % から 25 % に上げたことで、木材利用を格段に進めなければならない。

開発する耐火集成材や耐火壁は、外層に無処理材を、その内側に強力な難燃処理層（レーザーサイジング部位に薬剤を加圧注入したラミナ）を、内部には無処理ラミナを配置する基本構造を有する。

3. 研究の方法

従来的高速軸流型 CO₂ レーザより細くて深い穴があげられる高性能なスラブ CO₂ レーザを用いることにより、難燃薬剤をむら無く安定して注入し、より高い耐火性能を発現する耐火部材を開発する。

4. 研究成果

そのレーザーでスギラミナに基本的な穴あけを行い、それまで用いてきた高速軸流型 CO₂ レーザより、低い出力で、穴入口の直径が小さく、深さ方向の穴形状がより通直であるピンホールがあげられることを確認した。

開発中の耐火集成材は、通常の集成材に比べて環境負荷的に見てどの程度優しいかをライフサイクルアセスメントにより評価したところ、耐火集成材 (FR ウッド®) 1 m³ 製造までに生じた環境負荷を統合化した社会コストは 1,480 円となり、このうち耐火処理に関わる社会コストが全体の約 1/3 であること、同様の機能を持つ建築物の試設計 (図 1) より、耐火集成材の建物は鉄骨製と鉄筋コンクリート製の建物よりそれぞれ約 3 割と約 5 割社会コストの低いことが分かった (図 2)。

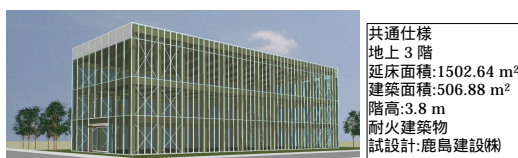


図 1 試設計の FR ウッド造オフィスビル

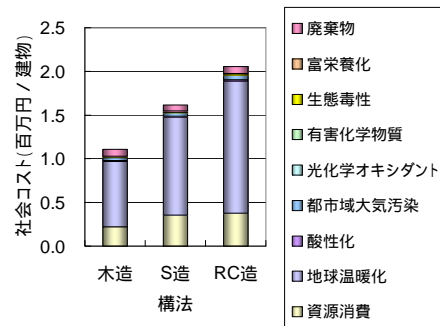


図 2 FR ウッド造のオフィスビル建設までの環境負荷比較

市場から調達したスギラミナに 22 年度の購入設備であるスラブ CO₂ レーザを用いて、ラミナの厚さ方向と幅方向にインサイジングを行い、難燃薬剤の注入、乾燥、幅はぎを行った。それらのラミナを別工場にて、無処理の内層、その両外側に燃え止まり層となる中間層と外層、更にその両外側に表層となる無処理の最外層を配置する 7 層構造のクロスラミナパネル (CLT) に仕上げた。2 枚の CLT を加熱試験用に調製し、(財) 建材試験センターにて 1 時間の加熱試験を行った (図 3)。

加熱試験中には非加熱面側での火炎の噴出や発炎は見られなかった。加熱終了後まもなく発炎燃焼が治まり、試験開始後 2 時間経過時に加熱面の残じんが見られなくなり、試験開始 8 時間経過時に CLT の内部温度は十分低下し、目視観察により残じん及び残煙が無かったことから、燃え止まりが確認された。以上より、1 時間の耐火性能を有することが明らかになった。インサイジング方向の違いによる薬剤注入量に差は認められなかったが、炭化深さは厚さ方向にインサイジングしたラミナでわずかに深くなる傾向を示した。

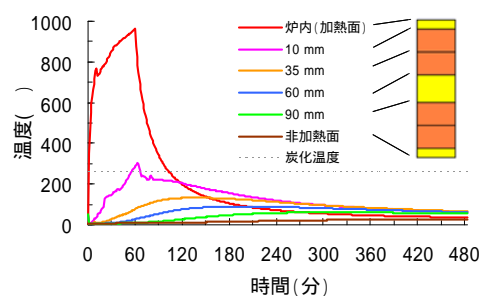


図 3 CLT の 1 時間加熱試験における各部の温度経緯

耐火集成材実用化の課題である生産ライン建設と製造コスト低減のために、インサイジング密度の低減、ドリルインサイジングの採用、並材利用の可否について検討した。インサイジング密度を現行の 3/4、1/2、1/4 に減らして両インサイジングの注入量を比べた結果、密度低下に伴う注入量減少は 2、5、10% 程度で、何れの場合も注入量の最低基準である 120 kg/m³ を上回ったことから、インサイジング密度が下げられること、両インサ

イジング法には顕著な差は見られずドリルインサイジングが使えること、レーザーインサイジング並材の注入量減少は 9 %程度で並材も使えることが分かった。

試作 CLT 耐火壁でも 1 時間耐火性能が得られたので、この構成を持つ耐火部材は間仕切り壁や外壁にも使えることが分かった。この間に、スギの 1 時間耐火集成材 (FR ウッド®) を用いた初めての 3 階建て木造建築物 (野菜倶楽部 oto no ha Café) が文京区の防火地域で竣工した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 10 件)

Keisuke Ando, Nobuaki Hattori, Toshiro Harada, Daisuke Kamikawa, Masayuki Miyabayashi, Kouta Nishimura, Norichika Kakae, Keiichi Miyamoto, Development of One-hour Fire-resistive Building Materials Made of Combustible Japanese Cedar Using Laser Incising, International Journal of Material Science, 査読有, **4**, 2014, 31-34, DOI: 10.14355/ijmsci.2014.0401.05

Md Nazrul Islam, Keisuke Ando, Hidefumi Yamauchi, Daisuke Kamikawa, Toshiro Harada, Nobuaki Hattori, Impregnation of Preservative and Fire Retardants into Japanese Cedar Lumber by Passive Impregnation, BioResources, 査読有, **8**, 2013, 395-404

Md Nazrul Islam, Keisuke Ando, Hidefumi Yamauchi, Daisuke Kamikawa, Toshiro Harada, HPS Abdul Khalilic, Nobuaki Hattori, Impregnation of laser incised wood of Douglas fir and Japanese cedar by dipping (passive impregnation) in solutions of copper azole (CuAz-B) and fire retardant (PPC), Holzforshung, 査読有, **68**, 2013, 353-360, DOI 10.1515/hf-2013-0140

Nobuaki HATTORI, Keisuke ANDO, Toshiro HARADA, Daisuke KAMIKAWA, Masayuki MIYABAYASHI, Kouta NISHIMURA, Norichika KAKAE, Keiichi MIYAMOTO, Laser incising of sugi lamina to develop one-hour fire-resistive wood material, Proc. the 21st International Wood Machining Seminar, August 5-7, 査読無, 2013, 131-139

安藤恵介、山内秀文、小林好紀、服部順昭、レーザーインサイジング材の蒸気噴射乾燥 (第 1 報) - 飽和蒸気の噴射が材温と含水率に及ぼす影響 -、木材工業、査読有、**68**、2013、161-165

Tomy Listyanto, Keisuke Ando,

Hidefumi Yamauchi, Nobuaki Hattori, Microwave and Steam Injection Drying of CO₂ Laser Incised Sugi Lumber, Journal of Wood Science, 査読有, **59**, 2013, 282-289, DOI: 10.1007/s10086-013-1331-9

Keisuke Ando, Md Nazrul Islam, Hidefumi Yamauchi, Nobuaki Hattori, Effect of steam injection re-drying of Japanese cedar on preservative leaching after passive impregnation, Wood Material Science and Engineering, 査読有, **7**, 2012, 196-201, DOI:10.1080/17480272.2012.694909

Yue Wang, Keisuke Ando, Nobuaki Hattori, Changes in the anatomy of surface and liquid uptake of wood after laser incising, Wood Science and Technology, 査読有, **47**, 2012, 447-455, DOI 10.1007/s00226-012-0497-4

上川大輔、原田寿郎、服部順昭、安藤恵介、宮本圭一、抱憲誓、西村光太、宮林正幸、荷重支持部の周囲に難燃薬剤処理木材を配置した耐火集成材の開発 - 燃え止まり性能に対する部材内部のネジ・木栓および目地の影響 -、木材工業、査読有、**67**、2012、296-301

上川大輔、原田寿郎、宮林正幸、抱憲誓、西村光太、宮本圭一、大内富夫、安藤恵介、服部順昭、難燃処理ラミナを用いた耐火集成材の開発 スギ集成材柱の 1 時間および 2 時間耐火性能、日本建築学会論文集、査読有、**75**、2010、929-935

[学会発表](計 23 件)

(森林総研)上川大輔、原田寿郎、(農工大院)服部順昭、安藤恵介、溶脱による難燃処理木材中の薬剤量分布の計測、第 64 回日本木材学会大会、2014 年 3 月 13 ~ 15 日、愛媛大学

(農工大農)柴 勇氣、安藤恵介、服部順昭、(森林総合研究所)桃原郁夫、スギ円柱材のレーザーインサイジング穴からの保存処理薬剤の浸潤、第 64 回日本木材学会大会、2014 年 3 月 13 ~ 15 日、愛媛大学

(農工大農)笠原祥一郎、並木 瑛、安藤恵介、服部順昭、(森林総研)上川大輔、原田寿郎、(鹿島建設)西村光太、抱憲誓、宮本圭一、(都産技研)中澤亮二、飯田孝彦、(ティー・イー・コンサルティング)宮林正幸、ドリルインサイジング及びレーザーインサイジングのスギラミナへの難燃薬剤注入における特性、第 64 回日本木材学会大会、2014 年 3 月 13 ~ 15 日、愛媛大学

Hattori N., Ando K., Harada T., Kamikawa D., Miyamoto K., Kakae N., Nishimura K. and Miyabayashi M., Comparison of office building made of fireproof glued-laminated timber with those of steel and reinforced concrete by

LCA, 11th International Conference on Ecomaterials, November 11-13, 2013, Hanoi University of Science and Technology

(農工大院農)服部順昭、森田 雅、安藤恵介、(森総研)上川大輔、原田寿郎、(鹿島建設)西村光太、抱 憲誓、宮本圭一、(都産技研)中澤亮二、飯田孝彦、(ティ・イー・コカティン)宮林正幸、スギ 1 時間耐火部材の普及に向けての課題検討 ラミナ等級・インサイジング密度・薬剤濃度の注入への影響、日本木材加工技術協会第 31 回年次大会、2013 年 10 月 31 日~11 月 1 日、静岡県男女共同参画センター

西村光太、宮本圭一、抱 憲誓、服部順昭、安藤恵介、原田寿郎、上川大輔、宮林正幸：耐火集成材の開発(その 18)スギ耐火集成材梁の耐火性能、日本建築学会 2013 年度学術講演会、2013 年 8 月 30 日~9 月 1 日、北海道大学

西村光太、宮本圭一、抱 憲誓、服部順昭、安藤恵介、原田寿郎、上川大輔、宮林正幸、耐火集成材の開発(その 17)異なる施工方法で作製した複数のスギ耐火集成材柱と壁接合部の 1 時間加熱実験、日本建築学会 2012 年度学術講演会、2012 年 09 月 12~14 日、名古屋大学

抱 憲誓、宮本圭一、西村光太、服部順昭、安藤恵介、原田寿郎、上川大輔、宮林正幸、耐火集成材の開発(その 16)小断面スギ耐火集成材柱の載荷加熱試験および大断面部材との比較、日本建築学会 2012 年度学術講演会、2012 年 9 月 12~14 日、名古屋大学

服部順昭、安藤恵介、森田 雅、上川大輔、原田寿郎、宮林正幸、西村光太、抱 憲誓、宮本圭一、レーザインサイジング難燃処理ラミナを用いたスギ耐火壁の開発、日本建築学会 2012 年度学術講演会、2012 年 9 月 12~14 日、名古屋大学

Nobuaki HATTORI, Keisuke ANDO, Miyabi MORITA, Toshiro HARADA, Masayuki MIYABAYASHI, Keiichi MIYAMOTO, Development of Fireproof Wall with Fire Retardant Layer Incised by CO₂ Laser, 2012 IUFRO Conference Division 5 Forest Products, 8-13 July, 2012, Estoril, Portugal

上川大輔、原田寿郎、服部順昭、安藤恵介、宮本圭一、抱 憲誓、西村光太、宮林正幸、難燃処理ラミナを用いたスギ耐火集成材の開発、第 28 回日本木材保存協会年次大会、2012 年 5 月 28~29 日、メルパルク東京

(森総研)上川大輔、原田寿郎、(農工大院)服部順昭、安藤恵介、(ティ・イー・コカティン)宮林正幸、(鹿島建設)宮本圭一、抱 憲誓、西村光太、構造用スギ耐火集成材の開発 小断面仕様と後付け施工仕様の検証、第 62 回日本木材学会大会、2012 年

3 月 15~17 日、北海道大学

(TUAT) Md Nazrul Islam, Tomy Listyanto, Keisuke Ando, (APU) Hidefumi Yamauchi, (TUAT) Nobuaki Hattori, Performance of steam injection redried sugi and Douglas-fir lumber after impregnation of preservative and fire retardant by passive impregnation method, 第 62 回日本木材学会大会、2012 年 3 月 15~17 日、北海道大学

(農工大院)森田 雅、安藤恵介、服部順昭、(森総研)上川大輔、原田寿郎、(ティ・イー・コカティン)宮林正幸、(鹿島建設)抱 憲誓、西村光太、宮本圭一、レーザインサイジング難燃処理ラミナを用いたスギ耐火壁の加熱試験、第 62 回日本木材学会大会、2012 年 3 月 15~17 日、北海道大学

(TUAT) Tomy Listyanto, Md Nazrul Islam, Keisuke Ando, (APU) Hidefumi Yamauchi, (TUAT) Nobuaki Hattori, Rapid drying of CO₂ incised Japanese larch dried by microwave and steam injection, 第 62 回日本木材学会大会、2012 年 3 月 15~17 日、北海道大学

(森林総合研究所)上川大輔、原田寿郎、(農工大院)服部順昭、安藤恵介、(鹿島建設)宮本圭一、抱 憲誓、西村光太、(ティ・イー・コカティン)宮林正幸、耐火集成材の開発(その 15)燃え止まり性能に対する部材内部のネジ・木栓の影響、日本建築学会 2011 年度学術講演会、2011 年 8 月 23~25 日、早稲田大学

(鹿島建設)西村光太、宮本圭一、抱 憲誓、(農工大院)服部順昭、安藤恵介、(森林総合研究所)原田寿郎、上川大輔、(ティ・イー・コカティン)宮林正幸、耐火集成材の開発(その 14)ラミナの部分的薬剤処理により作製したスギ耐火集成材梁と天井床接合部の 1 時間加熱実験、日本建築学会 2011 年度学術講演会、2011 年 8 月 23~25 日、早稲田大学

(鹿島建設)抱 憲誓、宮本圭一、西村光太、(農工大院)服部順昭、安藤恵介、(森林総合研究所)原田寿郎、上川大輔、(ティ・イー・コカティン)宮林正幸、耐火集成材の開発(その 13)ラミナの部分的薬剤処理により作製したスギ耐火集成材柱と壁接合部の 1 時間加熱実験、日本建築学会 2011 年度学術講演会、2011 年 8 月 23~25 日、早稲田大学

(農工大)大林秀稔、森田 雅、安藤恵介、服部順昭、(森総研)上川大輔、原田寿郎、(ティ・イー・コカティン)宮林正幸、(鹿島建設)抱 憲誓、西村光太、宮本圭一、構造用耐火集成材の環境影響評価、第 61 回日本木材学会大会、2011 年 3 月 18~20 日、京都大学

(森総研)上川大輔、原田寿郎、(農工大院)安藤恵介、服部順昭、(ティ・イー・コカティン)宮林正幸、(鹿島建設)抱 憲誓、

西村光太、宮本圭一、構造用耐火集成材の開発 スギ耐火集成材の内部温度推移と炭化、第 61 回日本木材学会大会、2011 年 3 月 18～20 日、京都大学

- ⑳ (農工大院農) 安藤恵介, Tomy Listyanto, 服部順昭, (秋県大木高研) 山内秀文、レーザーサイジングスギ柱材の蒸気噴射乾燥および過熱蒸気中での乾燥における材内圧力について、第 61 回日本木材学会大会、2011 年 3 月 18～20 日、京都大学
- ㉑ (TUAT) Tomy Listyanto, (UGM) Aditya Aji Pratama, (TUAT) Keisuke Ando, Md Nazrul Islam, Nobuaki Hattori, Fire Resistance of Mahogany with Solution Tetraborate and Boric Acid in Different Concentration and Pressure, 第 61 回日本木材学会大会, 京都大学, 2011 年 3 月 18～20 日, 京都大学
- ㉒ (TUAT) Md Nazrul Islam, Keisuke Ando, Tomy Listyanto, (APU) Hidefumi Yamauchi, (TUAT) Nobuaki Hattori, Efficiency of steam redrying of sugi wood after passive impregnation method of wood preservation, 第 61 回日本木材学会大会, 2011 年 3 月 18～20 日, 京都大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

服部 順昭 (HATTORI, Nobuaki)
東京農工大学・(連合) 農学研究科 (研究院)・教授
研究者番号 : 90115915

(2) 研究分担者

原田 寿郎 (HARADA, Toshiro)
独立行政法人森林総合研究所・構造利用研究領域・領域長
研究者番号 : 50353818

安藤 恵介 (ANDO, Keisuke)
東京農工大学・(連合) 農学研究科 (研究院)・講師
研究者番号 : 70262227