

【審査結果の要旨】

本論文では、無機塩水溶液を木材に含浸して熱処理を行い、その熱処理が木材構成成分に及ぼす影響、および含浸材の熱分解挙動を明らかにすることにより、発火の危険性が低い 180°C 以下の低温度域で、木材に高い耐朽性を付与できる条件（塩濃度、処理温度、処理時間）について検討している。

第 1 章では、樹脂により細胞内腔を充填する「樹脂処理」や、木材の水酸基間に架橋を形成するなどの「化学修飾処理」、また、主に木材中の耐朽性の低い成分を熱により分解、あるいは変成する「熱処理」について、処理方法や処理材の特徴について紹介するとともに、付与される耐朽性の知見についてまとめられている。

第 2 章では、180°C 以下の低温度域においても無機塩が木材の分解を促進することを確認する目的で、スギ辺材に NH_4Cl 、および MgCl_2 の希薄な水溶液を注入して全乾状態とした含浸材に 160°C～180°C で 24 時間の熱処理を行い、処理に伴う質量減少率から分解の程度を確認している。その結果、いずれの含浸材も処理温度および塩濃度が高くなるほど質量減少率が大きくなり、無機塩が木材の分解を促進することが認められている。さらに、JIS K 1571 に準拠してオオウズラタケによる腐朽試験を実施した結果、熱処理による質量減少率が大きくなるほど耐朽性が向上し、質量減少率と耐朽性との間には直線的な関係があることを明らかにしている。熱処理による質量減少率が同じ場合、 MgCl_2 含浸材に比べて NH_4Cl 含浸材の方が耐朽性は高いという結果も得ている。耐候操作によって水に流脱した成分率は、 MgCl_2 含浸材では高い濃度の含浸材ほど増加し、耐候操作を行うことで耐朽性は大きく低下している。一方、 NH_4Cl 含浸材では、流脱率は低く、かつ耐候操作による耐朽性の低下も小さいことが確認されている。リグニンの定量法である硫酸法により熱処理前後の木材について酸に不溶な成分の定量を行い、熱処理による増減を調べた結果、酸不溶成分は NH_4Cl 含浸材では顕著に増加したが、 MgCl_2 含浸材はほとんど増加しないことを明らかにしている。このことから NH_4Cl 含浸材は熱処理によって分解した木材成分が酸に不溶な成分に変成するなどの理由で MgCl_2 よりも高い耐朽性が付与されたことを明らかにしている。

第 3 章では、第 2 章で行った酸不溶成分の定量の結果から、アンモニウムが酸不溶成分の増加に関与していることが推察されたため、スギ辺材に 3 種類のアンモニウム塩水溶液をそれぞれ含浸して 170°C で 24 時間の熱処理を行い、酸不溶成分、および窒素分の定量によりアンモニウムが酸不溶化にどのように関与しているかについて検討されている。酸不溶成分の定量の結果、いずれのアンモニウム塩を含浸した場合でも酸不溶成分が顕著に増加したことから、酸不溶成分の増加にアンモニウムが関与していることが示唆されている。さらに、熱処理後のスギ辺材に含まれる窒素分を定量した結果、 NH_4Cl 含浸材の窒素含有率が顕著に増加したことから、 NH_4Cl 含浸材では発生したアンモニアガスが木材と反応して酸不溶化が進んでいる

可能性が報告されている。実用化を想定して試験体寸法を大きくしたスギ辺材にアンモニウム塩を含浸して熱処理を行った結果、 NH_4Cl 含浸材は材色が内部まで一様に暗褐色になったのに対して、 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 、および $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 含浸材は、材表面付近は暗褐色になったが、内部はそれほど暗色化しない結果であった。その要因について、熱分析の結果から NH_4Cl 含浸材では NH_4Cl が加熱により昇華、および分解して発生したガスが広範囲に作用することにより、木材内部まで改質されることを考察している。

第4章では、第3章までに得られた結果から NH_4Cl が低温熱処理に適した無機塩であると判断し、含浸する水溶液の塩濃度、処理温度、および処理時間などについて幅広い条件で熱処理を行い、高い耐朽性を付与できる条件を調べられている。検討した結果、耐朽性と質量減少率、および耐朽性と酸不溶成分率にはどちらにも直線的な関係があり、熱処理による質量減少とともに、また、酸不溶成分の増加とともに耐朽性が向上することを明らかにしている。無機塩を含浸しない 240°C の熱処理により JIS K 1571 に規定される防腐性能基準を満たすには、熱処理による質量減少率が 18%以上必要であったが、塩濃度 2.5%含浸材を 150°C で 24 時間の熱処理を行うと、質量減少率が 13.9%で防腐性能基準を満たすことを報告している。また、塩濃度 1.0%含浸材を 170°C で 72 時間の熱処理を行うことで、質量減少率が 11.3%で防腐性能基準を満たすことも報告している。

以上、本論文では NH_4Cl の希薄な水溶液を木材に含浸して熱処理を行うことで、木材中の耐朽性の低い成分が耐朽性の高い成分に変成することにより、質量の減少を抑制しつつ耐朽性が付与できることを明らかにしている。さらに、木材の発火の危険性の低い 180°C 以下の温度域においてスギ辺材に高い耐朽性を付与できる処理条件を見出すなど、今後の実用化へ向けた技術の基礎となる重要な知見を得ることができている。

以上より、本論文は博士論文の要件を十分に満たすものであると評価出来る。

6 最終試験の結果の要旨

本論文の内容は、令和4年2月16日(水)午後4時10分より、稲盛記念会館102講義室において公開の博士学位論文発表会で発表された。口頭発表後、質疑応答が行われ、塩濃度が処理に及ぼす影響について、過熱蒸気処理による影響について、実用サイズにおける処理材の耐朽性について、実用化を念頭においた装置上の課題について、実用化を見据えた技術的課題と展望についてなど、多岐にわたる内容であったが、それぞれ適切に回答した。最終試験の結果としては、審査委員全員一致で合格とした。

以上