

称号及び氏名	博士（工学） 荘保 伸一
学位授与の日付	平成 28 年 3 月 31 日
論文名	「熱処理木材を使った木製外装による建物内外の熱負荷抑制の評価」
論文審査委員	主査 吉田 篤正 副査 須賀 一彦 副査 横山 良平 副査 木下 進一

論文要旨

近年、地球温暖化とヒートアイランド現象による都市温暖化の二重の温暖化現象により、都市部の温熱環境が著しく悪化しており、生態系への影響だけでなく、都市住民の生活環境の悪化や熱中症などの健康面への影響が懸念されている。熱汚染とも呼ばれるヒートアイランド現象の主要因はコンクリートやアスファルトといった熱容量の大きい人工被覆の増加と人口集中、産業活動の活性化によるエネルギー消費に伴う人工排熱の増加に大別される。これらの都市構造や人間活動の変化が地表面の熱収支構造に多大な影響を及ぼしていることから、ヒートアイランド対策としてこの 2 つの要因の改善に取り組むことは極めて重要である。

ヒートアイランド対策技術は多くの科学分野にわたって研究されており、その評価方法は分野毎に独自におこなわれているため、どの対策技術が優れているのか適正に評価することができない。大阪ヒートアイランド技術対策コンソーシアムでは、ヒートアイランド対策技術の性能評価方法として大気熱負荷削減量で評価することを提言している。対策技術や施策の相互比較が可能になれば、効果的に資金が投入でき、問題解決に当ることができると、統一した評価方法の確立が必要不可欠である。

また、地球温暖化対策における温室効果ガスの削減に向けたエネルギー効率の推進が国際的な課題となっている。建築分野の運用段階における一次エネルギー消費量の削減に向けた省エネルギー対策として、建物の高断熱化が有効な手段として挙げられる。ドイツをはじめとした欧州諸国では、既存建物の断熱改修工事において、躯体の蓄熱効果を利用する外断熱工法が主流となっており、近年、我が国でも実用化されるケースが増えている。

本研究では熱処理木製を使った木製外装による建物内外の熱負荷抑制効果を明らかにす

ることを目的とし、既存建物及びコンクリート製の建物模型を使った実測と数値解析より、大気熱負荷と室内空調負荷の削減効果を評価した。また、寒冷地における冬期の断熱性能及び暖房負荷削減効果についても評価した。

第1章では、既存の研究をレビューし、本論文の位置付け及び本論文の概要を示した。

第2章では、2つの既存建物を使い、水平面および鉛直面を木製外装で被覆したときの大気熱負荷について評価した。水平面は大阪府立大学の屋上テラスに施工されたウッドデッキを使い、木製外装の表面および躯体のタイル表面の温度と伝導熱流束を測定し、木製外装の有無による影響を調べた。大気熱負荷は表面温度と気温との差で相対的に評価した。木製外装は日射の影響を受けやすく、日中の表面温度は木製外装のないタイル表面よりも高くなり、大気熱負荷が大きくなるが、夕方以降は表面温度が低下し、夜間は気温との差がなくなり、タイル表面よりも大気熱負荷が抑制されることが確認された。また木製外装のあるタイル表面の伝導熱流束は木製外装のないタイル面よりも極めて小さく、日中の建物への蓄熱および夜間の建物からの大気への放熱が抑制されることがわかった。日中、木製外装の表面温度が上昇した要因として、日射反射率がタイルよりも低い事が影響していると考えられたため、数値解析により日射反射率を共通にした条件で日中の表面温度を比較した。その結果、日射反射率を共通にしても木材の方が日中の表面温度は高く、熱伝導率、熱容量といった固体特有の熱輸送特性に大きく影響を受けていることがわかった。鉛直面は大阪木材会館の南面に施工された4つの異なる形状の木製外装について、木製外装の表面および躯体のタイル表面の温度と伝導熱流束を測定し、木製外装の有無ならびに木製外装の形状の違いによる影響について調査した。木製外装の有無については、前述した水平面と同じ傾向が確認された。木製外装の形状の違いについては、日中、隙間のない面形状の積層張、無双張、鎧張の間には大きな違いはないが、隙間が設けられているルーバー形状は比較的低い温度となり、夜間の温度はいずれも気温とほぼ同じで差が見られないことが確認された。

第3章では、気象特性の異なる2つの地域において、コンクリート製の建物模型を用い、木製外装で被覆したときの建物内外への熱負荷の影響について調査した。温暖地域である大阪府の測定では、木製外装（熱処理スギと熱処理ヒノキ）及びその他の被覆材（高反射率塗料、金属サイディング、タイル等）で被覆したときの表面温度、伝導熱流束、模型内の温度を実測し、木製外装の有無と被覆材の違いによる影響を調べた。木製外装の表面温度は第2章の結果と同じく日射の影響を受けやすく、日中コンクリート面とほぼ同じ値を示すが、日射が低下する夕方以降は急激に温度が下がり、日没後は気温とほぼ同じ値を示す。また模型内部の温度は、木製外装による日射遮蔽と断熱効果により、コンクリート躯体への熱貫流が抑えられ、内部温度の日較差が小さくなる。その他の被覆材との比較において、金属サイディングは内側に貼られた断熱材の効果により、木製外装と表面温度、熱流束はほぼ同じであった。高反射率塗料は木製外装及び外装のないALCよりも表面温度が低くなるが、躯体への熱貫流は木製外装の方が抑えられていた。タイルは日中の熱流量が

最も高く、コンクリートと同様に日中熱を蓄えて夜間大気へ放出していた。準寒冷地域である長野県の測定では、木製外装で被覆したときの熱処理温度の違いによる大気熱負荷への影響及び木材外装の厚さと躯体と木材外装との隙間空間の違いによる建物内部への熱負荷の影響について調べた。また、夏期と冬期の室内空調負荷の削減効果について、数値解析を用いて評価した。熱処理木材は熱処理温度が高くなるほど暗褐色に変化するため、日射反射率が低下し、大気顕熱負荷が大きくなることが確認された。また通常の木材も屋外で時間が経過すると、紫外線劣化により灰色化が進むため、日射反射率が低下し、熱処理木材とほぼ同じ値になった。木製外装と躯体との隙間空間が増すことにより、また外装材の厚さが増すことにより、熱抵抗が大きくなり、夜間の放熱が抑えられた。木製外装材による空調負荷削減効果について数値計算をおこなった結果、被覆のないものに比べ、夏期は冷房負荷が **64.9%**、冬期は暖房負荷が **4.2%** 低減した。

第 4 章では、寒冷地域における冬期の木製外装の断熱効果の検証を目的とし、コンクリート製の建物模型を用い、木材外装で被覆したときの木製外装の厚さと躯体との隙間空間の有無による断熱性能への影響について調査した。また建物模型内に設置したヒーターの消費電力量を測定し、省エネルギー効果について調査した。木製外装で被覆することにより、ヒーター停止時は室内温度の日較差が小さくなり、ヒーター稼動時は躯体温度の日較差が小さくなった。その効果は躯体との間に空気層を設ける方が高く、木製外装の厚さを増すことにより、さらに高くなった。木製外装と躯体との間に隙間空間がないモデルは、隙間空間のあるモデルに比べ、木製外装材の表面温度が低くなったが、その下のコンクリート表面温度は高くなった。これは、隙間空間（空間層）があるモデルよりも断熱効果が低く、熱が伝わり易いためであり、空気層も建物内外の熱移動の抑制に貢献していることが確認された。

第 5 章では、これまでの研究を総括して、今後の課題について述べた。

審査結果の要旨

本研究では熱処理木製を使った木製外装による建物内外の熱負荷抑制効果を明らかにすることを目的とし、既存建物を使った実験と都市部の **RC** 造建物を想定したコンクリート製の小規模な建物模型を使った実験より、大気熱負荷と空調負荷削減効果の評価おこなったものである。また、寒冷地における冬期の木製外装の断熱性能および暖房負荷削減効果についても評価がおこなわれている。本研究で得られた知見は以下の通りである。

- (1) 木製外装材のヒートアイランド抑制効果に関して、木材の低熱伝導率による断熱効果により、日射が弱くなる夕方以降において、表面温度が急激に低下し、日没以降は気温とほとんど差がなくなるため、熱帯夜に関わる夜間の建物からの顕熱輸送の

軽減に繋がることを実測により明らかにした。

- (2) 木製外装表面の伝導熱流束は、木製外装を施工していないコンクリート壁やタイル面に比べて極めて小さく、日中の建物への蓄熱ならびに夜間の建物から大気への放熱を抑制していることが確認され、夏期の室内の空調負荷の低減に寄与することを実測および数値解析により明らかにした。
- (3) 寒冷地における冬期の断熱効果の検証実験より、躯体との間に空間層を設けて木製外装材を施すことにより、躯体の熱移動が抑制され、断熱性能が向上することが確認され、冬期の空調負荷の低減による一次エネルギーの削減効果に寄与することを明らかにした。

以上の諸成果は、木材の持つ優れた特性を生かし、都市特有の環境問題の改善や省エネルギー対策として今後の木材需要の新たな可能性を示すものである。木材の新たな利用分野を開拓し、我が国の木材利用の拡大に貢献するところ大である。また、申請者が自立して研究活動をおこなうにあたり、十分な能力と学識を有することを証するものである。