

# 学 位 論 文 の 要 旨

氏 名

倉山 千春

学位論文題目

開口部の総合熱性能評価法に関する研究

本論文は、開口部の断熱性能・遮熱性能の評価法をまとめたものである。

開口部は建物の中で唯一開閉可能な部位であり、窓とそこにつける付属物（雨戸、カーテン、ブラインド等）の開閉・調整等との組み合わせにより断熱性能、遮熱性能を変えることができる。開口部は設置される地域、方位や季節、時刻などにより様々な熱的性能が要求されるが、その試験ならびに評価法については未整備の部分が多い。

住宅では次世代省エネルギー基準の改訂、住宅の品質確保の促進等に関する法律などにおいて夏季日射侵入率の規定が強化された。また、建築物においても省エネルギー計画書提出義務化の範囲が拡大されてきている。このような中、省エネルギー基準や年間熱負荷(PAL)計算における中の開口部基準の見直しも行われつつあり、開口部の熱性能評価の必要性がますます高まっている。

近年、特殊金属コーティングを用いた遮熱型Low-Eガラスやブラインド内蔵ガラスなど、冷房負荷軽減のために日射遮蔽を意識した開口部製品の開発が進んでいる。しかしながら、現在の開口部製品の熱性能試験規格は、冬季の夜間（日射の無い）熱貫流率Uのみであり、日射侵入率 $\eta$ （日射熱取得率SHGC: Solar Heat Gain Coefficient）については扱われていない。

開口部の熱性能としては、熱貫流率、日射熱取得率が重要な性能である。

熱貫流率の測定法については、国内外において様々な試験法が提案され、実施されている。国際的にはISO12567,ISO12567-2が規格化され、我が国でもこれに整合するようにJIS A4710が改訂された。これまで国内で行われてきた試験法との最大の相違は、熱貫流率を算出に放射の影響を考慮した環境温度差を用いる点である。計算法としてはISO10077-1,ISO10077-2,ISO15099が規格化されているが、我が国ではこれらに相当する規格はまだ作成されていない。日射熱取得率の計算法としてはISO 15099が規定されているが国内では規格化されていない。試験方法については国内外とも規格化されているものはない。

試験法、計算法にはそれぞれ利点と難点があるが、開口部の熱性能は両方で得ることが望ましい。試験法は決められた条件での実製品での性能が得られる利点はあるが、設備の構築や試験の実施には多大な費用が必要であり、再現性や試験条件の変更等に難点がある。それに比較して計算法では条件の変更が容易で再現性があり多くの計算を実行することができるため海外では計算による評価法が広く行われ、規格の整備やツールの開発が進んでいる。

我が国でも計算法の整備とツールの開発の必要性が認識され、熱貫流率と日射熱取得率を計算できるツールとして開口部の総合熱計算プログラム「WindEye」の開発が開始された。計算法の検証のための試験結果のうち、熱貫流率については十分な試験データの蓄積があるが、日射熱取得率については試験方法が無いため試験データは皆無であった。

このような状況から、本研究では、開口部製品の熱性能の横並び評価を行うための試験法そのものの整備と、試験データの蓄積を目的に新しい試験装置の開発に着手した。装置開発においてはISO12567の方法で熱貫流率測定と、ISO15099の計算法に基づく日射熱取得率測定が可能であることが最大の目標であった。熱量測定、温度測定が主の熱貫流率試験装置を基本に、太陽光シミュレータなど光学系を組み込むことが、装置設計上の大きな課題であった。

製作した測定装置での各種ガラス違いの開口部の測定結果により、十分な精度を有していることがわかった。その後、窓とブラインド、レースカーテンなど代表的な付属物を組み合わせでのデータ収集を行った。

一方、計算法での問題点は開口部を構成する部材の熱および光学的なデータを必要とする点で、特にガラス以外の光学データについては、測定法も整備されていない状態であった。このため、光学特性についての測定法の検討とデータを収集・整理した。

現在、条件は限られるものの計算法での結果と、試験法での結果は満足できる一致を見ている。計算法の最大の利点は入力データさえあれば多くの窓の計算を容易に実行できることであり、これは試験法の弱点である。一方、試験法の最大の利点は試験体さえあれば結果を得ることができるという点であり、これは計算法の弱点である。各々の利点を生かすための現状での最大の課題は、計算に必要な熱光学的なデータの整備である。これらのデータが整備され、あらゆる開口部の計算が可能となり、結果の妥当性が試験により検証できれば、窓性能評価ツールとして現在開発されている「WindEye」は、建物の熱環境設計ツールに組み込まれ、更に普及していくことが期待される。

第1章では、本研究の背景と目的、日射熱取得率測定における関連項目について分類し、試験法、計算法についての既往研究を概説し、本研究の位置づけについて述べた。

第2章では、新しく製作した日射熱取得率測定装置の測定原理、構成と基本性能をまとめた。光源の分光特性を考えた時、太陽光を用いることは最良の選択であるが、時間とともに太陽高度・方位角が変化し日射強度も一定ではなく、気温、風向・風速も変動する。それぞれの条件を固定した試験による開口部製品の横並びの評価を目的に、太陽光シミュレータを用いた日射熱取得率測定装置を制作した。また、本装置を用いて測定した各種複層ガラスの日射熱取得率を計算値と比較することにより、測定法の妥当性を確認した。

製作した日射熱取得率測定装置の主な特徴は以下の通りである。

- (a) 遮蔽係数ではなく日射熱取得率を直接求める装置であるため、標準ガラス（通常は3mm厚フロートガラス）の波長特性の影響を受けない。そのため、近年普及してきた遮熱型Low-Eガラスなどの波長選択性を有する開口部を正しく評価することが可能である。
- (b) 従来の装置では、一般に、日射による取得熱量を流体の出入り口温度と流量から計測していたが、本装置では、冷却パネル、計測箱及び試験体取り付け枠での熱量計測に熱流計を用いている。そのため、流量計や計測箱の校正実験を省くことができる。
- (c) 室内側、外気側の試験体正面にガラスのパツフル板を設け、光源及び冷却板からの長波長放射が試験体に与える影響をできるだけ小さくしている。
- (d) 太陽光シミュレータとして、標準試験体の大きさの照射面積で最大 $500\text{W/m}^2$ の照射強度を有し、平行度も高く、エアマス1.5の標準太陽光のスペクトルとよく合致したものを使用している。
- (e) 試験体取り付け開口の大きさが高さ1,375mm、幅1,695mmであり、市販の開口部製品の測定が可能である。

第3章では、日射熱取得率測定装置により各種開閉方式の窓ならびに窓とカーテン、ブラインド等の付属物との組み合わせたときの熱貫流率、日射熱取得率の測定を行った。開口部製品をグレーディング（窓）そのものと、それと外付け、内付けの付属物に分類し、その特徴などについて検討した。

第4章では、材料の光学的特性測定法について検討した。試験法は、一定条件での製品の横並びの比較評価には適しているが、実際の使用条件での評価を行おうとすると装置上の制約や費用など困難な面が多い。このため計算法の導入は必須であるが、それに必要な材料の放射率、日射反射率・透過率・吸収率などの物性値はほとんど整備されていない。このため、開口部の熱性能の計算に必要な光学特性の測定法についての検討を行ない、測定上の問題点を明らかにした。

第5章は、総括であり、本研究で得られた検討結果及び新たな知見をとりまとめた。さらに今後の研究によって解決すべき課題を整理し、開口部の断熱性能・遮熱性能の評価法についての展望を述べた。

# 論文審査の要旨

報告番号	理工論 第 号		氏 名	倉山 千春
審査委員	主 査	赤坂 裕		
	副 査	松村 和雄		徳富 久二
<p>学位論文題目 開口部の総合熱性能評価に関する研究 (A Test Method for Thermal Performance of Fenestration Products Including Shading Devices)</p> <p>審査要旨</p> <p>本論文は、建築物の窓等の開口部製品について、その断熱性能と遮熱性能を測定によって評価する方法、特に日射熱取得率の測定法に関する研究をまとめたものである。</p> <p>第1章では、開口部の熱性能、特に日射熱取得率の測定法と計算法に関する既往の研究を概説し、本研究の位置づけを明確にしている。</p> <p>第2章では、製作した日射熱取得率測定装置の測定原理、構成と基本性能をまとめている。分光特性の観点からは太陽光を用いるのが最良であるが、外界では時間とともに太陽高度、方位角、日射強度、気温や熱伝達率も変動する。そのため、本研究では、太陽光シミュレータを用い、屋内で日射熱取得率を測定できる装置を制作している。この装置により測定した各種複層ガラスの日射熱取得率を計算値と比較して測定法の妥当性を確認している。製作した日射熱取得率測定装置の主な特徴は以下の通りである。</p> <p>(a) 遮蔽係数ではなく日射熱取得率を直接測定するため、標準ガラスの波長特性の影響を受けない。そのため、遮熱型Low-Eガラスなどの波長選択性を有する開口部製品を正しく評価することができる。</p> <p>(b) 従来の装置では日射熱取得を流体の出入り口温度と流量から計測していたが、本装置では計測箱の表面熱流を熱流計により計測するため、流量計や計測箱の校正実験を行う必要がない。</p> <p>(c) バッフル板を設けることにより、光源及び冷却板からの長波長放射の影響を極力小さくしている。</p> <p>(d) 標準試験体の大きさの照射面積で最大500W/m<sup>2</sup>の照射強度を有する太陽光シミュレータを用いているため、エアマス1.5の標準太陽光のスペクトルをよく近似した平行度が高い光線を照射できる。</p> <p>(e) 試験体取り付け開口の大きさが高さ1,375mm、幅1,695mmで市販の開口部製品の測定が可能である。</p> <p>第3章では、日射熱取得率測定装置により各種開閉方式の窓、及び窓にカーテン、ブラインド等の付属物を組み合わせたときの熱貫流率、日射熱取得率の測定を行い、グレーディング（窓）と外付け付属物、内付け付属物のそれぞれについて、日射熱取得率の特徴を考察している。</p> <p>第4章では、材料の光学的特性測定法について検討している。測定法は一定条件での製品の横並びの比較評価には適しているが、実際の使用条件での評価を行おうとすると装置上の制約や経費面で困難な点が多い。このため計算法の導入は必須であるが、それに必要な材料の放射率、日射反射率・透過率・吸収率などの物性値はほとんど整備されていない。このため、開口部の熱性能の計算に必要な光学特性の測定法についての検討を行い、測定上の問題点を明らかにしている。</p> <p>第5章では、本研究で得られた検討結果及び新たな知見をとりまとめている。さらに今後の研究によって解決すべき課題を整理し、開口部の断熱性能・遮熱性能の評価法についての展望を述べている。</p> <p>以上、本論文は、開口部の熱性能、特に日射熱取得性能を測定する新たな装置を開発し、その特徴と利点を明確にしている。また、計算により日射熱取得率を求める際に必要な材料及び部品の光学特性の測定法について各種測定法を試み有益な知見を得ている。これらは、今後、国内だけでなく国際的にも開口部製品の熱性能評価に大いに貢献する成果であると評価できる。よって、審査委員会は、本論文が、博士（工学）の学位論文として合格であると判定する。</p>				

## 学 力 確 認 結 果 の 要 旨

報 告 番 号	理 工 論 第 号	氏 名	倉 山 千 春
審 査 委 員	主 査	赤 坂 裕	
	副 査	松 村 和 雄	徳 富 久 二

学力の確認は、平成19年1月26日13:00より、工学部建築学科2階ゼミ室にて、主査、副査および聴講者30名余の前で行なわれた。約60分間論文内容を発表した後、質疑応答が行なわれた。質疑応答の概要は以下の通りである。

(質問1) ガラスの分光特性の影響について、もう少し詳しく説明してもらいたい。

(回答) フロートガラスの分光透過率、反射率がほとんどフラットな分布を示すのに対し、Low-Eガラスでは可視光域で高い透過率、近赤外域で高い反射率を示す。このため、各種ガラスを透過した光は太陽光と異なる波長分布に変わって付属物にあたるため、波長選択性の高いLow-Eガラス等と組み合わせた時に誤差が大きくなる。

(質問2) ハロゲンランプによる測定データを太陽光(キセノン)に換算することはできないか。

(回答) ハロゲンランプは近赤外域にピークを持つ波長特性を持ち、日射の波長分布とは異なるため、日射遮蔽性能の評価に使うことは適当でない。ハロゲンランプでの測定データを太陽光での結果に換算するには、付属物などのデータも含めてハロゲン光の特性に合わせる必要がある。したがって、ハロゲン光による測定データを換算することは現実的でない。

(質問3) 測定データの不確かさはどの程度か。

(回答) 不確かさの厳密な検討は行っていない。表面熱伝達抵抗は試験体の形状や表面放射率によって変化し、校正に手間がかかるため、測定時に表面熱伝達抵抗を測定する方法を考えたい。日射熱取得率測定において、窓の貫流成分の熱移動は日射による熱に比べてきわめて小さいので、照射日射量と窓を透過した日射熱の測定が不確かさの要因である。

(質問4) キセノンランプの分光分布には太陽光にはないシャープな輝線が含まれるが、これらをフィルター等により除去し、より太陽光に近づけることはできないか。

(回答) キセノンランプの輝線はその波長を吸収あるいは反射する金属薄膜のフィルターを用いて除去している。試験体面での分光特性で残っている輝線はその波長が取り除けていないということである。現実には輝線の波長のみをピンポイントでカットすることは不可能で、その波長の近辺までカットするため、ある波長範囲での照射強度の積分値が日射とどの程度あっているかで評価する。

(質問5) 積分球によって部材の光学特性を測定する場合の課題は何か。

(回答) 透過性のある材料での反射率、透過率の測定に課題がある。反射率の測定では積分球背面(後部)からの光の入射が誤差要因で、これは試験体の後に光トラップを設けることで防ぐことができると考える。透過率の測定では試験体を透過した後に積分球内部で反射した光の一部が試験体の裏面で反射することが誤差要因である。積分球を使わず拡散反射板またはブラックボックスを用いる方法を試行している。

(質問6) 省エネ基準には、窓構成部品それぞれの日射侵入率を掛けて、複数の部品による日射侵入率を求めることができる式が記されている。この方法と今回の測定データとの関係はどうか。

(回答) 省エネ基準の計算法の根拠は全く不明である。レースカーテンなど基準での値と測定データが大きく違うものがあり、その原因の確認が必要である。組み合わせたときの実用的な日射侵入率の計算法については今後検討していく。

以上のように、各質問に対して豊富な経験と知識に裏付けられた適切な回答がなされた。よって、審査員は、申請者が博士(工学)に値する十分な学力を有すると判定した。