

窓の性能が学校教室の年間熱負荷と机上面照度に与える 影響に関する研究

学位論文内容の要旨

2005 年 2 月、京都議定書が発効した。日本では 2009 年に発足した新政権が、関係各国の共同実施を前提としているものの日本の温室効果ガスの削減目標を 2020 年までに 25%(1990 年比)と定めており、この実現に向けて、エネルギー使用の合理化、自然エネルギーの利用、ゴミの削減、省エネ型設備の導入などの施策を、あらゆる分野、あらゆる階層で努力し、実施していくことが求められる。

日本における二酸化炭素排出量のうち、民生(業務)分野の占める割合は 17% であり、この分野においては排出量が 1990 年から 2007 年の間に 41.7% 増加している。民生(業務)分野の対象となる施設のうち学校の延べ床面積はおよそ 3 億 5 千万 m^2 と推計され、業務用施設面積全体のおよそ 2 割を占めている。このことから、学校建築において学習環境を損なうことなく、あるいはさらに向上させながら、省エネルギー化を進めることは重要な課題である。

そこで本論文では、シミュレーション計算による定量的な解析を行い、年間熱負荷と机上面照度という省エネルギー性および明るさ環境の両面から見たときに、学校教室において最適な窓ガラスの性能設計の方向性、明るさを減じることなく省エネルギーに寄与する日射制御装置の仕様を提案した。

第 1 章では、本論文の背景として、省エネルギーに対する社会的な要請と学校教室に関する実状および課題を述べ、それらに対する既往の研究を縦覧し、本論文の位置づけと目的を明確にした。

第 2 章では、窓ガラスの面積、断熱性能、日射遮蔽性能、空調条件としての暖房設定温度、冷房設定温度が年間熱負荷に与える影響を明らかにすることを目的として、品質工学の手法を使って 8 都市の気象条件で年間熱負荷を計算し、これらの 5 つの因子が年間熱負荷に与える影響について考察した。その結果から、(1) 大阪以北では暖房設定温度の影響が最も大きい、(2) 札幌、盛岡、新潟、大阪、福岡、鹿児島では、熱貫流率、日射熱取得率の順序で窓ガラス性能を選定するのがよい、(3) 窓面積の大小は年間熱負荷に与える影響は小さいが、札幌、盛岡などの寒冷地では他の制御因子の適切な選択により窓面積の大きくすることで年間熱負荷を低減できる可能性がある、(4) 本論の検討条件の範囲では、最適な窓ガラスの選定と空調設定温度の設定により、およそ 20% から 90% の年間熱負荷軽減効果が期待できる、(5) 5 制御因子すべての SN 比を考慮した品質工学の方法による最小熱負荷と、最適組合せで熱負荷計算プログラムにより算出した年間熱負荷の比は、盛岡の南向きと那覇を除いて 0.90~1.14 である、ことを明らかにした。

第 3 章では、学校教室における庇長さ(壁面からの庇の先端までの距離)と窓面における光の拡散性が、室内の照度分布と年間熱負荷に与える影響を解析し、室内の明るさ環境と省エネルギーに

与える効果を明らかにすることを目的として、8都市の気象条件で、庇長さ、窓面の拡散性が異なる場合の机上面照度を求めて机上面の照度帯出現時間比と照度分布に与える影響について考察した。さらに庇長さ、換気回数、廊下配置を変えた場合の年間熱負荷を求めて、これらの違いによる年間熱負荷を比較した。その結果から、(1) 机上面照度が 10,000lx 以下となる出現時間の比較により、外窓の光拡散のみ、あるいは庇の設置のみでは眩しさの抑制に限度があるが、両者を併用することによって窓際の眩しさを改善できる可能性が高い、(2) 無拡散透過における庇長さ 1m と 2m の比較から、最大/最小照度比と照度比 10 倍 (文部科学省の示す基準値) より大きい出現時間比率の両者で 2m に伸ばすことの改善効果はみられるが、基準値未達の時間を失くすまでには至らない、(3) 照度が 200lx (文部科学省の推奨する最低照度) に満たない時間の割合は、庇の長さ、拡散性の有無で差が見られないことから、熱負荷計算において最低照度を保つ条件で検討する場合には、庇の長さ、窓の拡散の有無の違いによらず照明点灯の条件を同一と設定して差し支えない、(4) 年間熱負荷の比較では、いずれの地域でも廊下配置 (片廊下型か、中廊下型か) および庇長さ (0~2m) よりも換気回数 (1.5~5.5 回/h) の方が年間熱負荷に与える影響は大きい、(5) 那覇以外のいずれの都市でも、庇が長くなると熱負荷が増加し、庇長さ 0m に対する比率は、1m で 1.04~1.07、2m で 1.07~1.10 である、ことを明らかにし、庇の設置により年間熱負荷は増加するものの、外窓への拡散性の付与の併用により年間熱負荷は増加を最小限に抑えつつ、照度分布を均斉化できる可能性のあることを示した。

第 4 章では、ベランダの透光性フェンス (柵型や透明材型) の外側に設置する反射型ルーバー (フェンスルーバー) を提案し、学校教室における有効性を明らかにすることを目的として、その設置とスラット角度と反射率の設定が、学校教室の年間熱負荷と室内照度に与える影響について評価した。フェンスルーバーは、スラットに当たった直射日光が上向きに反射してベランダを通過するため、季節毎、時刻毎の太陽高度変化を有効に活用して窓面への昼光入射を制御できることに特長がある。庇を天井面の高さで庇長さ 1m、反射型導光ルーバーをスラット幅 100mm、スラット枚数 4 枚の条件で、スラット角度、反射率の設定を変えて、シミュレーション計算により年間熱負荷、照度分布を計算した。その結果から、(1) フェンスルーバーを設置することによって、昼光を活かして冷房負荷を増やさず年間熱負荷を低減できる、(2) 制御効果には地域性があるものの、スラット角度を水平に対して屋外に向かって下向きに 5~10 度に傾けると、冬季や朝夕に昼光を採り入れ、夏季の昼間には採り入れない、という制御が可能である、(3) 盛岡から鹿児島各都市でフェンスルーバー設置した場合には、設置しない場合に比べて冷房負荷は増加せず、年間熱負荷は反射率 80% の時に 2~5% 減少する。札幌では、暖房負荷が大きいために庇を設けると年間熱負荷が 2~3% 増加するが、フェンスルーバーの設置によって増加は 1% まで改善される、(4) 教室の最低照度である 200lx 以下の出現時間数は、スラットの反射率が 80% の時に月当たり 3~7 時間まで減少する、(5) 都市毎の最適スラット角度は、札幌:7.5 度、盛岡:5.5 度、新潟:8.5 度、東京:6.5 度、大阪:7 度、福岡:6.5 度、鹿児島:6.5 度、那覇:9.5 度である、ことを明らかにし、改善効果は微少であるものの年間熱負荷と 200lx 以下の出現時間数が低減することから、フェンスルーバーが昼光利用において有効であることを示した。

第 5 章では、以上の各章の解析から得られた結果の統括を行い、今後の展望について言及した。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 羽 山 広 文

副 査 教 授 横 山 眞 太 郎

副 査 教 授 長 野 克 則

学 位 論 文 題 名

窓の性能が学校教室の年間熱負荷と机上面照度に与える 影響に関する研究

2005 年 2 月、京都議定書が発効した。日本の二酸化炭素排出量のうち、民生 (業務) 分野の占める割合は 17% であり、この分野における排出量は 1990 年から 2007 年の間に 41.7% 増加している。民生 (業務) 分野の対象施設のうち学校の延べ床面積はおよそ 3 億 5 千万 m^2 と推計され、業務用施設面積全体の約 2 割を占めている。このことから、学習環境を損なうことなく、あるいはさらに向上させながら、学校建築の省エネルギー化を進めることは重要な課題である。そこで本研究の目的は、学校教室における定量的な解析・評価を行い、年間熱負荷と机上面照度という省エネルギー性および光環境の両面から見たときに、最適な窓ガラスの性能設計の方向性、明るさを損なわずに省エネルギーに寄与する日射制御装置の形態を明かにするものである。

第 1 章では、本論文の背景として、省エネルギーに対する社会的な要請と学校教室に関する実状および課題を述べ、それらに関する既往の研究を縦覧し、本論文の位置づけと目的を示した。

第 2 章では、窓ガラスの面積、断熱性能、日射遮蔽性能、暖房設定温度、冷房設定温度の 5 因子が年間熱負荷に与える影響を明らかにすることを目的として、札幌、盛岡、新潟、東京、大阪、福岡、鹿児島、那覇の 8 都市で年間熱負荷を計算し、品質工学の手法を使ってその影響について考察した。その結果、(1) 空調設定温度は熱負荷低減に重要な因子である、(2) 東京、鹿児島で熱貫流率よりも日射熱取得率の影響が大きいなど窓面の日射熱取得制御は重要である、(3) 札幌、盛岡、新潟、大阪、福岡では、熱貫流率、日射熱取得率の順で窓ガラスを選定するのがよい、(4) 窓面積の年間熱負荷への影響は小さいが、寒冷地では他の制御因子の適切な選択により窓面積を大きくしても年間熱負荷低減できる可能性がある、(5) 本論の検討条件の範囲では、最適な窓ガラス選定と空調設定温度設定により 20~60% の年間消費電力軽減が期待できる、ことを明らかにし、空調設定温度の影響が大きいものの、窓の断熱化と同様に日射熱取得の制御が熱負荷低減に重要な因子であることを示した。

第 3 章では、庇長さや窓面拡散性を変えた場合の机上面の照度分布の比較、庇長さ、換気回数、廊下配置を変えた場合の年間熱負荷の比較を 8 都市の気象条件で実施した。その結果、(1) 無拡散透過・庇なしの場合の 3,000lx を超える時間は全時間の 3~5%、最大/最小照度比の最大値は 139~

178 倍だが、1m の庇でそれぞれ 1～3%、41～44 倍に低減する、(2) 最大/最小照度比 10 倍 (文部科学省の照度基準) を超える時間数の比率は庇なしで 27～41% だが、1m の庇で 10～22% とおよそ 1/2 に減少し、光環境の改善に庇の設置が有効である、(3) 照度 200lx(文部科学省の推奨最低照度) 未達の時間の割合は、庇長さ、拡散性の有無で差がない、(4) いずれの都市でも廊下配置 (片廊下型/中廊下型) と庇長さ (0～2m) より換気回数 (1.5～5.5 回/h) の年間熱負荷に与える影響が大きい、(5) 那覇以外のいずれの都市でも庇が長くなるとわずかに熱負荷が増加し、庇なしに対する比率は 1m で 1.04～1.07、2m で 1.07～1.10 である、ことを明らかにし、照度分布を均斉化して光環境を向上させることによる庇設置の有効性と課題を示した。

第 4 章では、ベランダの透光性フェンスの外側に設ける反射型ルーバー (フェンスルーバー) の設置とスラット角度・反射率の設定が年間熱負荷と室内照度に与える影響について 8 都市の気象条件で評価した。その結果、スラット反射率 80% の時に、(1) 200lx 以下の出現時間数は、月当たり 3～7 時間程度減少する、(2) 冷房負荷を増やさずに年間消費電力が低減し、庇がある場合の年間消費電力に対して 4.5～9.9% の消費電力が低減できる、(3) 庇なしに対する消費電力の比率は札幌、盛岡、新潟で 1.01、東京から鹿児島で 0.95～0.99 で、消費電力をほぼ維持もしくは低減しつつ光環境を改善できる、(4) スラット角度を屋外に向けて下向き 5～10 度に傾けると、冬季や朝夕に昼光を採り入れ夏季の昼間には採り入れない、という制御が可能である、(5) 最適スラット角度は、札幌:7.5 度、東京:6.5 度、大阪:7 度、鹿児島:6.5 度などすべての都市で 5～10 度の間にある、ことを明らかにし、フェンスルーバーが昼光利用に対して有効であることを示した。

第 5 章では、以上の各章の解析・評価から得られた結果を総括し、今後の展望について述べた。これを要するに、筆者は学校教室の年間熱負荷と机上面照度に関して、建物および窓の性能が与える影響を定量的に評価するとともに、学校教室内の光環境を適切に制御可能なフェンスルーバーの形態およびその省エネルギー性を明らかにした。これらは、建築環境学をはじめとし、建築工学、空間性能工学の進展に寄与するところ大である。

よって、筆者は北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格があるものと認める。