

早稲田大学大学院 創造理工学研究科

博士論文概要

論文題目

環境負荷低減のための
建築設備一体技術の利用に関する研究
Adopt of technology integrated architecture and
equipment for decrease of environmental impact

申請者

金 政秀

Jeongsoo Kim

建築学専攻・建築環境研究

2009年 12月

業務・家庭部門での省エネ対策を主な狙いとした改正省エネルギー法（エネルギーの使用の合理化に関する法律）が2009年4月より施行されるなど、建築物に関する規制が年々強化されている。その対応策の一つとし建築・構造躯体の工夫利用により環境負荷削減（熱負荷・消費エネルギー削減、負荷平準化）を行う建築設備一体技術があり、近年、実施物件が増えつつある。しかし、竣工後の運用段階において、設計意図通りでない利用やシステムの効果が不十分の場合がある。また、今後の計画において適切な技術が選択されなければ、環境負荷増の可能性もある。本研究では、これら建築設備一体技術としての問題点の抽出およびその対策の定量的な評価、また新たな技術の提示とその検証を行うことを目的とする。まず、建物の外皮熱負荷に影響する建築ファサードの動向調査を東京都のオフィスビルを対象に行った。その中で、ファサードに自然換気の機能を求めていたことから、超高層オフィスビルの自然換気窓の実測調査を行い、その後、執務者に対する適切な自然換気窓利用の啓発活動を行った。また、ガラス建築が今後も増加すると予測されたため、新たに将来予測モデルを提案し、ファサードの熱性能の差異の選択によるファサード部の冷暖房エネルギー消費量の予測を行った。公立小学校の冷房化による冷暖房エネルギー消費量予測を新たに提案した予測モデルにより行い、様々な熱負荷削減対策の採用による効果について定量的に示した。構造躯体の工夫利用技術として、躯体蓄熱空調システムの改善対策および効果検証、また新たな技術として土壌蓄熱空調システムの計画手法を示すと共にその効果検証を行った。以下に各章のまとめを示す。

第1章では、本研究の目的、研究背景および本論文の構成について述べた。

第2章では、省エネ計画書で拡張デグリーデー法によるPAL（年間熱負荷係数以降PAL）計算書の提出が必要となる延床面積5,000m²以上の主要用途をオフィスとする2008年末まで竣工の東京都の建物106件を調査対象とした。ガラス建築の総ガラス面積とその仕様の調査を行うと共に、意匠・設備設計者への意識調査を行った。その結果、ガラス建築は物件数と総ガラス面積共に1990年頃から増え始め、2000年以降は急激に増加していた。また、意匠・設備設計者ともに半数以上が「今後もガラス建築の需要は高い」と回答しており、ガラス建築は今後も増加すると考えられた。ガラスファサード採用は、建築主からの発案が9%に対して、意匠設計者からの発案が85%を占め、ガラスファサードの採用は、意匠設計者の意見による場合が多かった。デザインや環境的側面、法規、コスト等を考慮した上で、今後相応しいと考えるファサード仕様の概略図を設計者に図示して頂いた結果、ダブルスキンに注目している意匠設計者の割合は多かった。以上より、将来外皮規制が現状よりもさらに強化されることがなければ、ダブルスキンが採用される機会の多い手法の一つと考えられた。

第3章では、第2章における動向調査より、ファサードに自然換気の機能を求

めていたことから、都内の超高層オフィスTビルの自然換気窓の実測調査を行った。調査の結果、自然換気窓利用による熱負荷削減効果値は春季が100kJ/kg、夏季が-470kJ/kgとなり、夏季の利用もあったため、春季と夏季を通じると必ずしも省エネルギー的な運用が使用者によってはなされていなかった。また、自然換気窓開放行為は温度調節や換気目的等の物理的要因が主な理由となるものの、因子分析の結果より心理的要因の影響も強いことが確認出来、開放については自由に操作可能な「手動制御」が望まれていた。従って、本来の自然換気窓性能を最大限発揮するためには執務者に対して自然換気に関する知識や熱負荷にならない適切な窓開閉のタイミングを情報発信する等の啓発を促すことが重要であると考えられた。そこで、竣工直後の大阪市内の超高層オフィスBビルにおいて窓運用に関する啓発活動を行った。その結果、意識が変わるとの回答が77%、自然換気窓を操作するようになるとの回答が40%となり、自然換気窓の説明による運用改善の可能性があることが確認できた。

第4章では、第2章における動向調査より、東京都のオフィスビルにおけるガラス建築の割合が今後とも増加すると予測され、これからのガラスファサードにおいて適切な計画がなされない場合は冷暖房エネルギー消費量が増大することから、新たに将来予測モデルを提案し、ファサードの熱性能の差異の選択によるファサード部の2050年までの冷暖房エネルギー消費量の予測を行った。予測モデルは、第2章のファサード仕様調査で把握した2008年時までの総ガラス面積と、将来の既築、新築ガラス建築の増減率予測により、将来の総ガラス面積を予測した。そのガラス面積と熱換気回路網計算プログラムにより求めた年間熱負荷を乗ずることで、将来の総ガラス面熱負荷を予測した。将来予測の結果、高性能なガラスファサードとしてPAL値が200MJ/(年・m²)、高効率熱源が採用される場合、ガラス建築のファサード部の冷暖房エネルギー消費量を2050年には2008年比で-25%に抑えられた。従って、今後ガラス建築の増加が预期される中、現状よりもさらなる建物消費エネルギー削減を目指す上で、これからの新築ガラス建築の設計時にダブルスキンに相当する高性能なガラスファサードの導入を行うことにより、東京都全体のガラス建築群における省エネルギー効果が認められた。

第5章では、近年東京都の公立小学校において冷房化が急増していることから、全国的に同様の流れとなると冷暖房エネルギー消費量が増大されると予想された。そこで、冷房化によるエネルギー消費量の予測を、新たに提案した予測モデルにより行い、自然換気や日射遮蔽などの様々な熱負荷削減対策の効果による冷暖房エネルギー削減効果について定量的に示した。予測モデルは、47都道府県毎の学級数予測、エアコン設置率予測と年間冷暖房負荷計算から2030年までのエネルギー消費量を算出し、積み上げにより全国の冷暖房エネルギー消費量の予測を行った。その結果、熱負荷削減対策の効果として、1学級当たり各都道府県で自然換気2～8%、熱回収10～12%、Low-eペアガラス5～13%、庇0.5～

1.5%、高断熱化 2～10%の年間冷暖房エネルギー消費量が削減されると試算された。また、将来予測による結果からは、上に述べた 5つの環境対策の導入と高効率エアコンの採用により全国のエネルギー消費量予測は、冷房化による冷房エネルギーの消費量は増加するが、特に寒冷地においてストーブからエアコンに切り替えることによるエネルギー効率化と将来の少子化の影響により、2030年に1990年比の-12%を達成することが可能であると確認された。

第6章では、建物内への蓄熱技術として、主に構造躯体である床スラブを蓄熱媒体として利用する躯体蓄熱空調システムの性能評価を現場実測および模型実験により行った。その結果、現場実測において実測エリア 353m²の床スラブ内に広く布設した光ファイバ式温度分布計測システムによる平面温度分布から、躯体蓄熱の大部分は吹出し気流が直接当る室内ユニット直上であった。そこで吹き付け気流範囲を増加させる「拡散蓄熱ファン」を実測エリアに8台設置した。その結果、同じ室内機ユニットの運転時間で、躯体蓄熱量が週平均で297Wh/m²から336Wh/m²へと13%増加した。終日運転(24時間空調)との実測比較により、室温26℃一定制御の終日運転の夜間投入熱量193kWh/日に対して、冷媒電磁弁全開運転の躯体蓄熱の夜間投入熱量は337kWh/日と多くの熱量を投入可であり、翌日の負荷平準化に寄与していると確認された。次に模型実験により、躯体蓄熱量を増大させるための設計要因となる吹出温度、スラブと吹出口までの距離、スラブ断熱の有無による影響の検証を行い、設計用基礎データを収集した。以上より建物内において大きな熱容量である床スラブを積極的に蓄熱媒体として活用する「躯体蓄熱システム」が負荷平準化に寄与する方式であると考えられた。

第7章では、建物地下土壌を蓄熱媒体として利用する土壌蓄熱空調システムを高松市内にある中規模オフィスビルに開発導入し、その性能評価を行った。本蓄熱システムは、地下の大規模な熱容量を利用出来、また冬季の冷熱を夏季に使用する自然エネルギー利用型の年間蓄熱が可能である。土壌内との熱交換杭の掘削費用を削減するため、64本の構造杭基礎を熱交換杭として利用し、また熱挙動の把握が困難である建物地下土壌の約10,000m³を蓄熱槽として利用するため、基本設計段階でシミュレーションソフトを作成して導入効果の予測を行い、その結果を実施設計に反映させた。竣工後初年度の性能検証の結果、冬季の蓄熱量は213GJ/年、夏季の採熱量は145GJ/年となり蓄熱効率は68%、本システムによる冷房負荷のピークカット率は8.7%、ピークシフト率は6.1%、年間システムCOPは3.61となった。また、単純投資回収年数は4.4年となり、費用対効果の高いシステムであることを確認した。これらにより土壌蓄熱システムは負荷平準化に大きく貢献することを明らかにした。

第8章では、各章の研究結果を総括した。

本研究により、建築設備一体技術を適切に計画・運用することで、建築物の環境負荷削減に効果的であることを定量的に示した。